NOTICE

SUR LES

TITRES ET TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DU

Dr MAREY

Professeur au Collége de France, Membre de l'Académie de Médecine

---

PARIS

TYPOGRAPHIE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1876

TITRES DE M. MAREY

Interne des hôpitaux, 1854-58
Docteur en médecine, 1859.

Lauréat de l'Institut :
Mention honorable (prix Montyon), 1860.
Prix de physiologie, 1862, en commun avec M. Chauveau.
Prix de médecine, 1864, pour un ouvrage ayant pour titre : *Physiologie médicale de la circulation du sang.*

Prix de médecine, 1866, pour une série de mémoires sur la physiologie du système musculaire.

Prix Lacaze (Physiologie appliquée à la médecine), 1874. Ce prix était alors décerné pour la première fois.

Lauréat de la Faculté de médecine :
Prix Barbier, 1863, pour l'invention du sphygmographe.
Prix Barbier, 1865, pour l'invention du cardiographe et d'un appareil enregistreur des mouvements respiratoires.
Lauréat de l'Académie des sciences de Caen, 1862. (Mention honorable) pour un mémoire sur cette question mise au concours : *De la chaleur animale.*

ENSEIGNEMENT.

1860. Cours libre de physiologie expérimentale (dans l'amphithéâtre particulier du docteur Robin).

1861. Cours libre à l'École pratique de la Faculté de médecine sur la physiologie de la circulation du sang et le diagnostic des maladies du cœur et des vaisseaux.

1864. Création d'un laboratoire de physiologie (14, rue de l'Ancienne-Comédie).

1865. Cours libre dans ce laboratoire (semestre d'été).

Quelques-unes des leçons ont été publiées par la *Revue des cours scientifiques*, 1866-1867.
Conférences sur le *mouvement chez les animaux* (Soirées scientifiques de la Sorbonne).

1867. Nommé professeur suppléant au Collége de France, en remplacement de M. le professeur Flourens. (Chaire d'histoire naturelle des corps organisés.)

1869. Nommé professeur titulaire de ladite chaire par décret en date du 4 août.

1869. Nommé directeur d'un laboratoire de hautes études. (Physiologie expérimentale.)

1873. Leçons faites dans le grand amphithéâtre de la Faculté de médecine sur les applications de la méthode graphique au diagnostic médical.

SOCIÉTÉS SAVANTES.

Membre de la Société anatomique.

Membre et ancien vice-président de la Société de biologie.

Membre et ancien président de la Société philomathique.

Membre correspondant de l'Académie royale de médecine de Bruxelles.

Membre associé de l'Académie des sciences et belles-lettres de Caen.

Membre de l'Académie de médecine de Paris.

AVANT PROPOS.

La plupart des progrès réalisés dans les sciences expérimentales comme dans les sciences d'observation pure sont dus aux perfectionnements des méthodes et des instruments employés. Cette vérité, si bien comprise par les physiciens, les astronomes, les météorologistes, n'est pas moins frappante pour ceux qui travaillent à l'avancement de la physiologie.

La création d'un grand nombre de nouveaux appareils, l'extension de la *méthode graphique* en physiologie, sont l'origine de la plupart des découvertes qui seront signalées dans cette notice. L'auteur a cru indispensable de représenter par des figures la disposition de ses appareils et les graphiques qu'ils fournissent. S'il s'écarte en cela de la forme usitée dans de semblables notices, c'est que cette infraction à l'usage permet seule de rendre intelligibles les résultats qu'il a obtenus. Il ne fera du reste que suivre l'exemple donné par l'Académie des sciences, qui a toujours accepté dans ses *Comptes rendus* l'insertion des graphiques relatifs aux expériences de physiologie ou aux recherches de diagnostic médical.

Certains mouvements qui se produisent chez les animaux étaient souvent difficiles à soumettre à la méthode graphique; quant aux phénomènes qui ne sont pas des mouvements, ils semblaient ne pas se prêter à cette méthode. Mais l'importance qu'il y avait à ramener, autant que possible, les différents phénomènes de la vie à une expression uniforme, claire, exacte et constamment comparable, a soutenu les efforts de l'auteur; il a réussi, dans ces dernières années, à construire des appareils qui enregistrent les changements que produisent certaines influences dans la température et le poids des animaux. Indépendamment des moyens d'analyse plus parfaits qu'il a cherché à introduire en physiologie, l'auteur s'est en outre appli-

qué à contrôler constamment les résultats qu'il a obtenus. Non-seulement il a vérifié l'exactitude de ses appareils en les soumettant à de nouvelles épreuves, mais il a cherché à contrôler par une *synthèse* expérimentale les résultats de ses expériences. A cet effet il a construit des *schéma*, appareils qui réunissent les conditions physiques ou mécaniques auxquelles il attribuait la production de certains phénomènes, et il a réussi à reproduire ceux-ci d'une manière artificielle.

Les premiers travaux de l'auteur datent de l'année 1854, ses premières publications de 1857; depuis lors, il s'est constamment adonné à la physiologie expérimentale, sans négliger les applications de cette science aux progrès de la médecine. Il a toujours eu pour principe de suivre un même sujet aussi loin qu'il a pu le faire, pensant qu'il était plus utile de creuser profondément certaines questions que d'en effleurer un grand nombre.

Toutefois, l'intime solidarité des différentes fonctions de la vie a forcé l'auteur à étendre sans cesse le cadre de ses recherches.

Ainsi, de la *circulation du sang* il a été conduit à l'étude de la *chaleur animale* et de la *respiration*; les *mouvements du cœur* l'ont entraîné à des expériences sur la *fonction musculaire* en général, sur l'*action nerveuse* et sur les *phénomènes électriques* qui provoquent ou accompagnent le mouvement chez les animaux. Enfin l'étude de la production du *mouvement* a nécessité de nombreuses recherches sur l'action des *poisons* qui atteignent spécialement les nerfs ou les muscles, et des *études comparatives* de la fonction de motricité dans les différents types de la série animale.

Cette marche suivie dans la recherche a donné aux publications de l'auteur un enchaînement naturel, de sorte que ses travaux, exposés à peu près par ordre de dates, se trouveront présentés de la manière la plus favorable pour faire saisir l'évolution de l'idée générale qui a présidé à leur développement.

L'intérêt qui s'attache à ces études semble pouvoir se mesurer à

l'accueil favorable que le public scientifique leur a fait, à l'empressement qu'il a mis à en contrôler les résultats, enfin à l'adoption si générale de la méthode et des instruments de l'auteur. Aujourd'hui, dans un grand nombre de laboratoires et d'hôpitaux de tous les pays, ces nouveaux appareils fonctionnent et provoquent des recherches dont l'importance s'accroît sans cesse.

PUBLICATIONS DIVERSES.

I. — *Recherches sur la circulation du sang.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLVI, n° 10, mars, p. 453.)

Expériences d'hydraulique destinées à éclairer les phénomènes physiques de la circulation du sang. Première réfutation de cette erreur accréditée en physiologie, que l'élasticité des artères ne fait que régulariser le cours du sang, mais n'influe pas sur la quantité de liquide que le cœur pourra mettre en mouvement.

II. — *Recherches sur la circulation sanguine.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLVI, n° 14, 5 avril, p. 680.)

Étude des manifestations de la contractilité vasculaire que chacun peut obtenir sur lui-même, d'après la coloration que prend la peau sous l'influence de frottements plus ou moins forts. Une légère excitation amène la pâleur et fait paraître sur la peau une ligne blanche au bout de trente à quarante secondes, en provoquant la contraction des vaisseaux. Une excitation forte épuise la contractilité des vaisseaux et produit la rougeur. Application de ces idées à la pathologie; explication des congestions par l'épuisement de la contractilité vasculaire.

III. — *Recherches sur la circulation sanguine.*

(*Gazette médicale de Paris*, 1857, n°s 27 et 40.)

Réfutation de l'opinion émise par Poiseuille, qui annonçait qu'il y a égalité de pression du sang dans toutes les artères.

Premières tentatives de sphygmographie pour étudier la propagation du mouvement du sang dans les artères.

L'auteur combat l'idée de l'*activité* dans l'inflammation et dans l'état de chaleur qui suit l'application du froid.

IV. — *Recherches sur la circulation du sang.*

(*Annales des sciences naturelles*, 4e série, Zool., t. VIII, p. 329 à 364, avec planche.)

Dans ce mémoire, l'auteur, étudiant les phénomènes physiques de la circulation du sang, démontre, en s'appuyant sur des expériences d'hydraulique, les propositions suivantes :

1° L'élasticité des artères a pour effet de diminuer les résistances que le cœur éprouve à chasser son ondée sanguine à chacune de ses systoles. (Cette idée avait été émise déjà théoriquement dans la note n° I lue à l'Institut.)

2° Chez les vieillards la perte de l'élasticité des artères constitue un obstacle à l'action du cœur, et c'est elle qui, à la manière de tout obstacle au passage du sang dans les artères, entraîne l'hypertrophie du ventricule gauche.

3° Le plus grand obstacle au cours du sang est dans les petits vaisseaux ; c'est ce qui explique la faible inégalité de la pression du sang dans les artères plus ou moins éloignées du cœur.

4° Indication du mécanisme des différentes formes de la *locomotion* artérielle.

5° Mécanisme de la production du pouls et conditions dans lesquelles ce phénomène est plus ou moins facilement perceptible.

6° Explication du mécanisme par lequel les anévrysmes atténuent ou suppriment le pouls dans une artère, au-dessous de la tumeur. — Expérience montrant qu'une ampoule élastique placée sur le trajet d'un tube dans lequel on pousse un liquide par afflux intermittents, reproduit exactement le même phénomène.

7. Enfin l'auteur propose un nouveau manomètre qu'il nomme *manomètre compensateur,* et donne la théorie de cet appareil qui fournit dans un vaisseau l'indication de la pression moyenne du sang et ne présente presque pas d'oscillations sous l'influence des saccades que produit l'action intermittente du cœur.

(Ce mémoire et celui qui est cité sous le n° VI ont obtenu une mention honorable à l'Académie des sciences.)

V. — *Interprétation du pouls dicrote.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences,* t. XLVII, nov. 1858, p. 826-827.)

Le pouls *dicrote,* ou *bis feriens,* était considéré par certains auteurs comme produit par une double contraction du cœur; d'autres l'attribuaient à une contraction artérielle qui suivait celle du ventricule.

Ce travail établit :

1° Que le redoublement de la pulsation tient à une double oscillation de la colonne de sang dans le système artériel;

2° Qu'on peut provoquer un phénomène entièrement semblable dans un système de tubes élastiques;

3° Que le pouls dicrote annonce que la pression du sang dans les artères est peu élevée.

VI. — *Mémoire sur la contractilité vasculaire* (1).

(*Annales des sciences naturelles,* 4e série, Zool., t. IX, p. 53-88.)

Ce mémoire date d'une époque où la contractilité vasculaire et l'action du système nerveux *vaso-moteur,* récemment démontrées par la mémorable expérience de M. Cl. Bernard, donnaient lieu à de vives discussions. Aujourd'hui, après plus de dix-huit années pendant les-

(1) Ce travail a été traduit en entier l'année suivante dans *New Orléans med. Gazette.*

quelles un grand nombre de travaux ont été publiés sur cet important sujet, l'auteur ne trouve rien à retrancher de ce travail, dans lequel il a cherché à établir les propositions suivantes :

1. La contraction des vaisseaux constitue une force antagoniste de la pression du sang. En rétrécissant le diamètre des petits vaisseaux, elle crée une résistance au cours du sang et le ralentit; l'inverse se produit par le relâchement vasculaire.

2. La contraction artérielle contre-balance aussi les influences de la pesanteur sur la pression du sang : elle devient plus énergique dans les vaisseaux des parties déclives; elle est plus faible dans ceux des parties élevées du corps.

3. Il suffit de garder une même attitude horizontale ou verticale pendant quelques heures, pour que la contraction des vaisseaux se modifie et *s'adapte* à la pression du sang modifiée elle-même.

4. Certains accidents, la syncope par exemple, semblent produits, le plus souvent, par une rupture de l'équilibre entre la pression du sang et la contraction des vaisseaux.

5. Toute influence qui agit directement sur la contractilité vasculaire perd ses effets si elle est souvent répétée. Cette *accoutumance* aux stimulants est surtout remarquable chez les ouvriers occupés à certaines professions.

6. On peut facilement étudier sur soi-même l'influence des divers agents sur la contractilité des vaisseaux, et juger de l'effet produit d'après la coloration des téguments sur lesquels l'action a porté.

7. Presque tous les agents qui font contracter les vaisseaux et produisent la pâleur des téguments amènent au contraire un relâchement de ces vaisseaux d'où suit une rougeur plus ou moins vive, lorsqu'on les fait agir avec trop d'intensité.

8. Ce relâchement des vaisseaux par les excitants trop forts paraît

devoir s'expliquer par l'*épuisement* ou la *fatigue* de la contractilité vasculaire.

9. Les congestions et inflammations semblent être les effets d'un épuisement de la contractilité vasculaire.

10. Les fièvres seraient une généralisation du même épuisement.

(Ce travail a obtenu une mention honorable à l'Académie des sciences en 1860.)

VII. — *Recherches sur le pouls dicrote.*

(*Gazette médicale de Paris*, 1859, n° 30.)

Développement des faits signalés dans la note n° V. — Erreur dans le trajet assigné à l'oscillation du liquide dans les vaisseaux; cette erreur sera rectifiée plus tard (voy. n° XXXII).

VIII. — *Des causes d'erreur dans l'emploi des instruments qui servent à mesurer la pression sanguine et des moyens de les éviter.*

(*Gazette médicale de Paris*, 1859, n° 30.)

L'auteur montre que le mouvement de la colonne d'un manomètre à mercure n'exprime pas du tout les variations de la pression du sang dans l'artère à laquelle l'instrument est appliqué; que les *maxima*, les *minima* et même les *moyennes* fournis par ces instruments sont faux.

Description du sphygmographe de Vierordt; indication des défauts de cet instrument; premières modifications apportées par l'auteur à sa construction.

IX. *Recherches sur la circulation du sang à l'état sain et dans les maladies.*

(Thèse inaugurale pour le doctorat en médecine, soutenue le 4 mars 1859. In-4°, 119 pages.)

Cette thèse se divise en trois parties.

La PREMIÈRE PARTIE, relative aux phénomènes physiques de la circulation, reproduit plusieurs faits signalés dans les publications antérieures. On y trouve aussi une détermination plus précise de la transformation de la pulsation dans les artères à mesure que celles-ci sont plus éloignées du cœur.

Cette transformation était appréciée au moyen d'un appareil imitant les conditions physiques de la circulation.

La SECONDE PARTIE développe plus complétement les idées déjà émises par l'auteur sur la contractilité vasculaire et son rôle de régulateur du mouvement du sang.

Explication des effets du relâchement des vaisseaux sur la *température;* preuve que cet effet n'a lieu que sur les organes soumis à une cause de refroidissement. (J. Hunter avait déjà signalé le même fait à propos de la température des parties enflammées, mais il n'en avait pas donné l'explication.) L'auteur cherche à démontrer que la contraction ou le relâchement des vaisseaux modifient la température des organes en faisant passer plus ou moins abondamment le sang dont la température est élevée à travers des organes qui, d'autre part, tendent plus ou moins à se refroidir. De là résulte que la température des parties ainsi échauffées par l'accélération du cours du sang ne s'élève jamais au-dessus de celle du sang dans le cœur gauche, c'est-à-dire du liquide qui leur apporte sa chaleur. La production de chaleur semble peu modifiée par ce changement de vitesse du cours du sang.

Il existe des changements continuels du *volume* de nos organes sous l'influence de la contraction ou du relâchement de leurs vaisseaux. Ces changements sont surtout perceptibles et mesurables aux extrémités des membres : aux mains et aux pieds.

Signification des différentes colorations de la peau : rouge, violacée, pâle, etc., au point de vue de l'état de la circulation capillaire.

La TROISIÈME PARTIE renferme les applications des notions précédentes à la médecine.

Nous citerons textuellement les conclusions de cette dernière partie :

« L'état de plus ou moins forte contraction des petits vaisseaux se traduit dans les maladies par deux états opposés :

« La contraction trop forte par l'état *algide ;*

« La contraction trop faible par la *fièvre* ou la congestion locale (1).

« Dans chacun de ces états pathologiques s'observent les signes que nous avons donnés physiologiquement de l'état de contraction ou de dilatation vasculaire, soit du côté des tissus, température, couleur, volume, soit du côté de la tension artérielle dont l'élévation ou l'abaissement nous sont révélés par les caractères du pouls et des bruits de souffle vasculaires.

« De même que dans les expériences physiologiques, on voit, en pathologie, la contraction des vaisseaux suivie de relâchement, l'algidité suivie de fièvre (ce qui a été appelé à tort *période de réaction*).

« L'inflammation, dans la première période, est un état congestif dû à l'atonie vasculaire ; toutes les causes de l'inflammation s'expliquent par la théorie de l'*épuisement* suite d'une excitation trop forte.

« Les théories anciennes, transmises par tradition, ont amené les médecins à admettre dans l'inflammation une activité locale, une force inflammatoire; mais la physiologie nous montre que dans une partie

(1) Cette théorie de la fièvre est attribuée à tort à Traube, de Berlin (Algemein med. Centralzeitung, t. XXXII, 1863, nos 52, 54 et 102).

enflammée il n'y a que débilité des vaisseaux. Ces théories anciennes ne doivent pas, du reste, arrêter les idées nouvelles, car les premières remontent à une époque où l'on ne connaissait rien de la circulation du sang.

« La théorie nouvelle, basée sur les expériences physiologiques, offre de grands avantages pour expliquer sur plusieurs points la marche des inflammations : ainsi, la tendance des phlegmons à s'ouvrir à l'extérieur; le mécanisme de l'étranglement inflammatoire; la tendance spontanée des congestions à se résoudre au bout d'un certain temps; l'action curative de la plupart des traitements antiphlogistiques chirurgicaux ou médicaux

X. — *Du pouls et des bruits vasculaires.*

(*Journal de l'anatomie et de la physiologie*, t. II, p. 259-280 et 420-447.)

Dans ce mémoire sont relatées diverses expériences d'hydrodynamique destinées à éclairer le mécanisme de la circulation du sang. Quelques-unes des variétés que peut présenter le pouls sont reproduites artificiellement.

Le principe de la construction du *sphygmographe* à pression élastique et à levier léger est exposé dans ce travail; une ébauche encore grossière de cet instrument permet de constater comment les caractères du pouls se modifient sous différentes influences.

Démonstration de ce fait : que la force du pouls varie, à égale impulsion du cœur, en sens inverse de la pression artérielle. Explication de la force considérable du pouls dans l'*insuffisance aortique*. — Ce caractère est dû à la faible pression du sang dans les artères à cause du reflux qui se fait alors dans les ventricules. On peut le reproduire artificiellement sur un appareil schématique ou sur des animaux auxquels on perfore les valvules sigmoïdes de l'aorte.

Quelques recherches expérimentales sur la production artificielle des *bruits de souffle*.

Explication physique des bruits de souffle dans les anévrysmes, démonstration du rôle de l'élasticité. Reproduction schématique de ces phénomènes.

XI. — *Du sphygmographe.*

(*Journal l'Institut*, mars 1860.)

Description d'un appareil imaginé par l'auteur pour obtenir une expression graphique exacte des caractères du pouls.

La figure 1 montre le sphygmographe appliqué sur l'artère radiale.

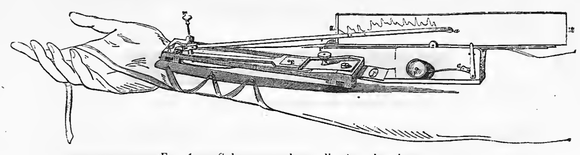


Fig. 1. — Sphygmographe appliqué sur le poignet.

Les figures 2, 3, 4, 5, 6 représentent quelques types variés des formes du pouls.

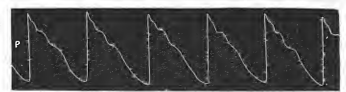


Fig. 2. — Altération sénile des artères avec insuffisance aortique.



Fig. 3. — Fièvre typhoïde.



Fig. 4. — Pouls large du rhumatisme articulaire aigu.



Fig. 5. — Bronchite asphyxiante.



Fig. 6. Embolie de l'humérale; caillots dans le cœur.

XII. — *Recherches sur l'état de la circulation, d'après les caractères du pouls.*

(Gazette hebdomadaire de médecine et de chirurgie, 1860, n° 25.)

Comparaison des appareils précédemment employés avec celui que l'auteur propose.

Indication des défauts des anciens instruments.

Manière d'appliquer le sphygmographe ; signification de quelques formes du pouls obtenues graphiquement.

XIII. — *Recherches sur le pouls au moyen d'un nouvel appareil enregistreur, le sphygmographe.*

(*Gazette médicale de Paris*, 1860, nos 15, 16, 19.)

XIV. — *Recherches sur l'état de la circulation du sang, d'après les caractères du pouls fournis par un nouveau sphygmographe.*

(*Journal de la physiologie de l'homme et des animaux*, 1860, p. 241-274, avec 15 figures.)

Première partie. — *Première tentative de classification des différentes formes de pouls.*

Nouvelles expériences pour la reproduction artificielle des caractères du pouls.

Preuve expérimentale de ce double fait : que l'amplitude du pouls et son dicrotisme vont en diminuant si la pression du sang s'élève dans les artères.

Deuxième partie. — *Applications de l'étude de la forme du pouls à la physiologie.*

L'extrême sensibilité de l'instrument permet de saisir les différences marquées de la forme du pouls sous certaines influences physiologiques qui seront énumérées ci-dessous.

La théorique mécanique de ces influences est presque toujours indiquée dans ce mémoire ; souvent le phénomène que l'auteur interprète est reproduit par lui au moyen d'expériences d'hydrodynamique.

1° Influence de l'attitude sur la tension artérielle et conséquemment sur le pouls.

2° Influence de la compression d'une ou de plusieurs artères volumineuses sur la tension artérielle et consécutivement sur la forme du pouls.

3° Influence du chaud et du froid sur le calibre des vaisseaux capillaires ; effets consécutifs sur la tension artérielle ; modifications correspondantes du pouls.

4° Influence des mouvements respiratoires sur la tension artérielle

et la forme du pouls. Reproductions physiques de phénomènes analogues.

5° Effets de la contraction musculaire sur la tension artérielle et la forme du pouls.

6° Influence de la gymnastique et du repos prolongé sur la tension artérielle et la forme du pouls.

7° Effets de l'état de digestion sur la tension artérielle et sur la forme du pouls.

Troisième partie. — *Rapports de la fréquence du pouls avec la tension artérielle.*

L'auteur est conduit par ses expériences à considérer le cœur comme *un moteur disposant sensiblement d'une force constante*, et à trouver la cause de l'accélération ou du ralentissement des battements du cœur dans la variabilité des résistances qui s'opposent à l'action ventriculaire. Il arrive à la conclusion suivante :

Toutes choses égales du côté de l'innervation et de la force du cœur, la fréquence des battements de cet organe est en raison inverse de la tension artérielle.

A l'appui de cette proposition sont rassemblées des expériences nouvelles, ou des faits anciennement connus, qui prouvent que toute influence n'agissant pas directement sur le cœur et produisant une modification de la fréquence de ses battements, amène d'abord un changement dans la tension artérielle, et que ce changement, à son tour, réagit sur le cœur. Voici les faits invoqués par l'auteur :

1° Influence de la saignée sur la tension artérielle, et par suite sur la fréquence des battements du cœur.

2° Influence de la pesanteur sur la tension artérielle et sur les battements du cœur.

3° Augmentation de la tension artérielle par la ligature d'une ou

de plusieurs artères volumineuses. — Diminution consécutive des battements du cœur.

4° Influence de la chaleur sur les petits vaisseaux qu'elle relâche. — Abaissement consécutif de la tension artérielle; accélération des battements du cœur.

5° Influence du froid qui resserre les petits vaisseaux; élévation consécutive de la tension artérielle; ralentissement des battements du cœur.

A la fin de ce mémoire, se trouve une ébauche de la *théorie physiologique de la fièvre* qui se complétera dans des travaux ultérieurs : n^es XX, XXI, XXV.

XV. — *Variations physiologiques du pouls étudiées avec le sphygmographe.*

(*Comptes rendus des séances de la Société de biologie pendant le mois de décembre* 1860.)

L'effort d'expiration, la glotte étant fermée, modifie le pouls d'une manière très-prononcée.

Les effets mécaniques que la compression de l'air dans les poumons exerce sur le cours du sang dans les vaisseaux, sont interprétés dans ce travail. On y trouve aussi l'explication d'une infraction apparente à la loi des rapports de fréquence des battements du cœur avec la tension artérielle.

XVI. — *Recherches sur le pouls au moyen d'un nouvel appareil, le sphygmographe.*

(*Comptes rendus*, t. L, p. 635-687.)

XVII. — *Recherches nouvelles sur le pouls.*

(*Archives générales de médecine*, février 1861.)

Démonstration de la supériorité de la méthode nouvelle pour la distinction des nuances les plus délicates du pouls.

Figures représentant quelques-uns des types principaux, avec indication des conditions cliniques dans lesquelles ils ont été recueillis.

XVIII. — *De l'emploi du sphygmographe dans le diagnostic des affections valvulaires du cœur et des anévrysmes des artères.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1860.)

Dans cette note sont représentées les formes du pouls qui correspondent aux quatre principaux types des altérations valvulaires du cœur gauche.

Voici ces types avec l'indication de la lésion qui les produit :



Fig. 7. — Insuffisance aortique.



Fig. 8. — Insuffisance mitrale.

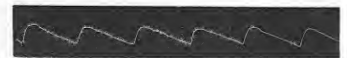


Fig. 9. — Rétrécissement aortique.

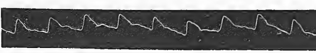


Fig. 10. — Rétrécissement mitral.

Les caractères du pouls au-dessous d'une tumeur anévrysmale sont représentés par le graphique suivant :



FIG. 11. — Tracé du pouls au-dessous d'un anévrysme.

Ce signe de l'anévrysme a permis dans des cas litigieux de porter un diagnostic exact et parfois d'instituer un traitement suivi de guérison (1).

XIX. — *Loi qui préside à la fréquence des battements du cœur.*

(*L'Institut*, août 1861, n° 1440, p. 270.)

Développement des idées émises dans le mémoire XIV, 3e partie.

XX. — *Loi de la fréquence des battements du cœur.*

(*Comptes rendus*, 15 juillet 1861, p. 95.)

Avec cette loi et les principales conclusions tirées des précédents travaux sur la chaleur animale, on peut construire la théorie physiologique de la fièvre dont tous les symptômes s'enchaînent, se rattachant à une cause commune : l'état de contraction ou de relâchement des petits vaisseaux.

(1). Voy. Broca, *Emploi du sphygmographe dans l'étude des tumeurs anévrysmales* (*Gazette des hôpitaux*, 1862. — Voyez aussi Haynes Walton (*The Lancet*, 1866, p. 176.)

CHALEUR ANIMALE.

XXI. — *De la chaleur animale.*

(Mémoire déposé en avril 1860, au secrétariat de l'Académie de Caen, et resté inédit.)

Un rapport de M. Roulland sur le concours du prix Le Sauvage, à Caen, 1862, cite, p. 80 à 95, quelques passages de ce travail, qui a obtenu une mention honorable suivie de l'envoi du diplôme de membre correspondant de l'Académie.

XXII. — *De quelques causes de variation dans la température animale.*

(*Gazette médicale*, 1860; *Comptes rendus de la Société de biologie*, p. 383.)

Interprétation physique des deux phénomènes suivants découverts par M. Cl. Bernard.

1° Après la ligature de l'aorte, la température s'élève dans les cavités splanchniques situées au-dessus de la ligature. L'explication proposée dans cette note est que la suppression du cours du sang dans les membres inférieurs supprime aussi la déperdition de chaleur qui en résulte normalement, car M. Bernard a prouvé que le sang des veines fémorales est plus froid que celui des artères correspondantes.

2° M. Bernard a montré que, dans certains cas, après la section du grand sympathique au cou d'un lapin, on voit non-seulement s'échauffer l'oreille correspondante au nerf coupé, mais se refroidir l'autre oreille. L'interprétation proposée est la suivante: comme chez le lapin, les deux carotides naissent d'un tronc commun, le passage plus facile du sang dans l'une des branches de bifurcation doit, par *érogation*, dimi-

nuer la quantité qui passe par l'autre. Comme preuve de ce fait, on peut, en comprimant et en relâchant tour à tour l'une des carotides, voir la température s'élever et s'abaisser dans l'oreille du côté opposé.

XXIII. — *Du thermographe, appareil enregistreur des températures.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences,* 1864, t. LIX, p. 459.)

Présentation d'un nouvel appareil permettant :

1° D'enregistrer l'intensité et la durée de tous les changements de température d'une partie quelconque du corps d'un animal ;

2° De traduire par deux ou plusieurs courbes rapportées à une même abscisse les variations de température de deux ou plusieurs points du corps d'un animal.

L'emploi de cet appareil permet de constater, dans certains cas, un *antagonisme* entre la température centrale et celle des parties périphériques, le refroidissement de ces dernières s'accompagnant alors de l'échauffement des centres et, réciproquement, l'échauffement de la périphérie abaissant la température centrale.

La théorie de ce phénomène se rattache à des considérations émises dans le Mémoire n° XXV, sur l'état de la température dans le *choléra.*

XXIV. — *Le thermographe*

(*Journal de l'anatomie et de la physiologie,* 2e année 1865, p. 182-189.)

Description et figure de l'appareil. — Réglage de la sensibilité de l'instrument. — Thermographe différentiel. — Transformation de l'instrument en un *manomètre enregistreur* signalant les plus faibles changements de pression.

XXV. — *Essai de théorie physiologique du choléra.*

(*Gazette hebdomadaire de médecine et de chirurgie*, 1865, nos 47 et 48.)

Dans ce travail, l'auteur montre la profonde analogie physiologique du choléra avec les affections à deux stades, l'un d'algidité, l'autre de chaleur : avec certaines fièvres pernicieuses, par exemple, et certains empoisonnements (tartre stibié, colchique, émétine, etc.). Il fait voir :

1° Qu'une élévation de la température centrale correspond à l'abaissement maximum de la température périphérique dans l'algidité (fait signalé déjà par certains auteurs, mais dont la théorie n'avait pas été donnée);

2° Que dans le stade de chaleur (improprement nommé *réaction*), l'élévation de la température périphérique s'accompagne de diminution de la température centrale;

3° Que tous les troubles circulatoires, intestinaux et respiratoires, se doivent rattacher à une influence commune du système nerveux grand sympathique;

4° Que les caractères du pouls indiquent un obstacle au passage du sang dans les vaisseaux du poumon, obstacle par suite duquel le cœur gauche ne reçoit du sang qu'en très-faible quantité.

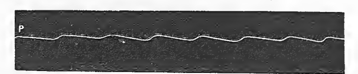


Fig. 12. — Pouls du choléra, période algide.



Fig. 13. Pouls du choléra, début de la réaction.



Fig. 14. — Réaction plus avancée.

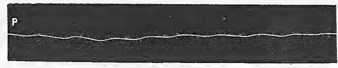


Fig. 15. — Retour de l'algidité (agonie).

Quelques-unes de ces idées ont été reprises et développées plus tard dans un travail du docteur Lorain (Études de médecine clinique et de physiologie pathologique : *Le choléra observé à l'hôpital Saint-Antoine*. Paris, 1868).

FONCTION DU CŒUR.

XXVI. — *Détermination graphique des rapports du choc du cœur avec les mouvements des oreillettes et des ventricules, obtenue à l'aide d'un appareil enregistreur* (en commun avec M. Chauveau).

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LIII, p. 622.)

Des ampoules élastiques, pleines d'air, introduites dans les cavités du cœur, ou placées en contact avec l'extérieur de cet organe, étaient comprimées chacune, soit par la contraction de l'une des cavités du cœur, soit par son choc ou battement. Chaque ampoule, conjuguée par l'intermédiaire d'un long tube de caoutchouc avec une autre ampoule qui est extérieure, communique à celle-ci les impulsions. Enfin, un levier de sphygmographe, reposant sur cette dernière ampoule, reproduit, en les amplifiant, tous les soulèvements et tous les affaissements de l'ampoule extérieure qu'il enregistre à la manière ordinaire.

Lorsqu'il s'agit de déterminer la force, la durée et la succession de trois phénomènes différents, comme la contraction de l'oreillette, celle du ventricule et le choc du cœur, il faut employer trois leviers superposés.

L'application des appareils *cardiographiques* faite sur le cheval n'apporte aucun trouble à l'état physiologique de ces animaux.

C'est par la veine jugulaire ou la carotide qu'on introduit dans le cœur les ampoules destinées à transmettre les mouvements des ventricules et des oreillettes. L'ampoule qui reçoit les impulsions extérieures ou chocs est placée au niveau du cœur entre les deux muscles intercostaux.

Ces premières expériences cardiographiques, commencées à l'École

vétérinaire d'Alfort en 1861, ont été continuées pendant trois années, à différentes reprises, soit à l'École vétérinaire de Lyon, soit à Paris; elles ont donné lieu aux publications suivantes :

XXVII. — *Mémoire (lu à la Société de Biologie) sur la cardiographie* (en commun avec M. Chauveau).

(*Gazette médicale de Paris,* 1861; *Mémoires de la Société de biologie,* 3e série, t. III, p. 3.)

XXVIII. — *Deuxième Mémoire sur la détermination graphique des rapports du choc du cœur avec les mouvements des oreillettes et des ventricules* (en commun avec M. Chauveau).

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences,* t. LIV, p. 32) (1).

XXIX. — *De la force déployée par la contraction des différentes cavités du cœur* (en commun avec M. Chauveau).

(Communiqué à la Société de biologie en décembre 1862. — *Gazette médicale de Paris,* 1863, p. 169.)

Toutes les évaluations faites antérieurement avaient été tirées des indications d'un manomètre à mercure; elles étaient toutes passibles des erreurs signalées dans la note n° VIII.

Les mesures comparatives nous ont donné sensiblement le rapport de 1 à 3 entre la force du ventricule droit et celle du gauche.

(1) Une commission composée de MM. Flourens, Rayer, Bernard, Milne Edwards, rapporteur, assista aux expériences; M. Milne Edwards, dans son *Rapport sur les deux mémoires de MM. Chauveau et Marey, relatifs à l'étude des mouvements du cœur, à l'aide d'un appareil enregistreur* (*Comptes rendus de l'Académie des sciences,* t. LIV, p. 32), propose à l'Académie d'approuver ce travail et d'en ordonner l'impression dans les mémoires des savants étrangers. Les conclusions de ce rapport sont adoptées. (Un prix de physiologie a été décerné aux auteurs de ces deux mémoires.)

XXX. — *Appareils et expériences cardiographiques* (en commun avec M. Chauveau).

(Mémoire présenté à l'Académie de médecine en mars 1863, inséré aux *Mémoires de l'Académie* en 1863, t. XXVI, p. 268 à 319, 23 figures.)

XXXI. — *Tableau sommaire des appareils et expériences cardiographiques de MM. Chauveau et Marey.*

(Feuille in-plano, avec 9 figures.)

Les points principaux que ces expériences de cardiographie étaient destinées à élucider étaient les suivants :

1° Détermination de la succession des divers mouvements du cœur; caractères et rapports des mouvements de l'oreillette et du ventricule, ainsi que de la pulsation cardiaque ou choc du cœur.

2° Comparaison de la forme et de la durée des mouvements du cœur gauche avec ceux du cœur droit.

3° Rapports de la contraction ventriculaire avec la pulsation aortique.

4° Force statique développée par la contraction des différentes cavités du cœur.

Ces expériences, par lesquelles une rigueur absolue était introduite dans l'étude de phénomènes physiologiques, provoquèrent à l'Académie une discussion (1) à la suite de laquelle M. Gavarret, rapporteur, proposa l'adoption des conclusions du mémoire. Ces conclusions furent adoptées par l'Académie.

(1) Onze discours furent prononcés dans cette discussion : trois par M. Gavarret, trois par M. Beau, deux par M. Bouillaud, un par MM. Béclard, Parchappe et Barth.

XXXII. — **Physiologie médicale de la circulation du sang.**

(1 vol. in-8 de 560 pages, avec 235 figures dans le texte. Paris, Adrien Delahaye.)

Dans cet ouvrage, l'auteur cherche à appliquer tous ses travaux antérieurs à l'étude des maladies de l'appareil circulatoire. Il constate que le médecin ne peut se renseigner sur l'état de cette fonction que d'après les caractères du pouls, des battements du cœur, des bruits vasculaires, de la température et de la coloration des différentes parties du corps; aussi est-il d'une extrême importance d'établir la signification de ces différents caractères.

Comme la circulation est intimement liée à la fonction respiratoire, l'auteur cherche à déterminer l'influence de la respiration sur la pression et le cours du sang. Il montre que les opinions contradictoires émises à ce sujet par Ludwig et par Vierordt sont conciliables, et que des effets opposés peuvent être produits par l'inspiration, suivant que l'air entre avec plus ou moins de facilité dans le poumon.

La théorie de la distribution de la chaleur sous l'influence de la circulation est exposée avec plus de détails que dans les travaux antérieurs; cette théorie, en effet, doit servir à éclairer la nature des affections fébriles.

Explication de la fixité à peu près complète de la température centrale du corps chez l'homme.

Interprétation de tous les changements dans les températures d'un point particulier.

Théorie de la fièvre, *stade de froid ; stade de chaleur.*

Démonstration de ce fait que c'est l'état de contraction, puis de relâchement des petits vaisseaux, qui est la cause immédiate de tous les phénomènes qui caractérisent ces deux stades, à savoir : les changements dans la coloration et la température des organes su-

perficiels; les changements dans la force et les caractères graphiques du pouls qui varient avec l'état de la tension artérielle, et enfin, consécutivement, les changements de fréquence des battements du cœur lui-même.

Les caractères diagnostiques des affections du cœur et des gros vaisseaux sont étudiés d'une manière plus complète que dans les publications antérieures. Il en est de même des bruits de souffle.

L'étude des lésions valvulaires du cœur est éclairée par des expériences de production traumatique de ces lésions sur des animaux, d'autres fois par des imitations tout artificielles de ces mêmes lésions au moyen d'appareils schématiques analogues à ceux qui ont servi à l'étude des phénomènes normaux.

L'auteur s'est attaché, dans cet ouvrage, à combattre l'erreur commune qui tend à éloigner la physique de la médecine et à faire de cette dernière une science à part, ayant ses procédés et ses moyens d'investigation spéciaux. Déjà l'auscultation, la percussion, l'anatomie micrographique, la chimie physiologique, les expériences de thermométrie faites sur les animaux et sur l'homme, ont envahi le domaine de la médecine pure et ont apporté au diagnostic des maladies des moyens nouveaux et précieux. En fournissant aux médecins les moyens de contrôler mécaniquement les perceptions de leurs sens par rapport aux maladies de la circulation, en leur donnant l'exemple d'une reproduction schématique des principaux phénomènes physiologiques ou morbides de cette fonction, et en mettant à leur disposition un appareil enregistreur qui remplace le tact faillible par des tracés graphiques d'une sincérité et d'une vérité irrécusables, l'auteur croit avoir servi aux progrès de la médecine scientifique (1).

(1) L'Académie des sciences a décerné à l'auteur de cet ouvrage un prix de médecine, 1864.

CARDIOGRAPHIE APPLIQUÉE A L'HOMME.

XXXIII. — *Études physiologiques sur les caractères du battement du cœur et les conditions qui le modifient.*

(*Journal de l'anatomie et de la physiologie*, 1865, t. II, p. 276.)

Les expériences faites sur les grands animaux montraient avec une extrême précision les détails de la fonction du cœur, même *d'après le seul tracé du choc de cet organe;* mais pour obtenir ce tracé, il fallait une vivisection. Il était important de chercher un appareil

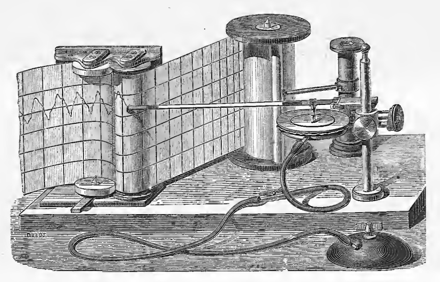


Fig. 16. Polygraphe disposé pour l'inscription de la pulsation du cœur.

applicable sans mutilation et permettant d'introduire dans l'étude de la fonction du cœur de l'homme la précision que l'expérimentation physiologique avait atteinte.

Après diverses tentatives, la difficulté a été résolue. L'appareil ci-contre permet d'obtenir sur l'homme, sain ou malade, le graphique des mouvements du cœur avec les différents caractères que lui impriment les variations physiologiques ou les troubles de la fonction. (Voyez la figure 16.)

XXXIV. — *Forme du battement du cœur suivant l'état de la fonction circulatoire dans la série animale.*

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1865, p. 181.)

Premières recherches de physiologie comparée instituée dans les laboratoire de M. Coste (à Concarneau), sur des animaux marins très-vivaces et d'espèces très-variées. Les résultats de ces recherches sont complétés dans le travail suivant.

XXXV. — *Sur la forme graphique des battements du cœur chez l homme et chez les différentes espèces animales.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXI, n° 19.)

Ce travail montre, d'après les tracés des mouvements du cœur recueillis sur les principaux types de la série animale :

1° Que la forme du battement du cœur se simplifie avec l'organe lui-même, et que très-complexe pour le tracé des *mammifères* et des *oiseaux*, il l'est moins chez les *poissons* et les *reptiles*, moins encore chez les *crustacés*; enfin que, chez les *mollusques*, il se réduit à une ondulation simple.

2° Que chez tous les animaux d'une même classe, le battement ne présente que des différences de force ou de fréquence, mais qu'il offre les mêmes détails.

3° Que toutes les complications qui s'observent dans le battement du cœur des *mammifères* ou des *oiseaux* dépendent de circonstances

TABLEAU I.

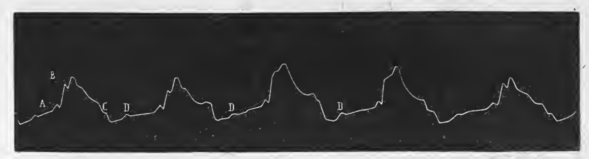


Fig. 17. — Pulsation du cœur de l'homme à l'état sain. Les influences respiratoires changent légèrement le type de la pulsation. Ce tracé est recueilli sur un cylindre à rotation rapide.

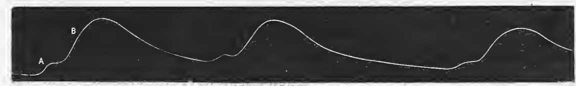


Fig. 18. — Pulsation du cœur de l'anguille. A oreillette, B ventricule.



Fig. 19. — Pulsation du cœur de la tortue terrestre. A oreillette, B ventricule.

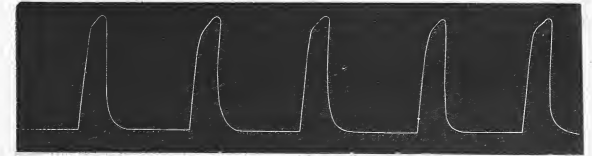


Fig. 20. — Cœur du crabe ; une seule action, celle de la poche qui enveloppe le ventricule.

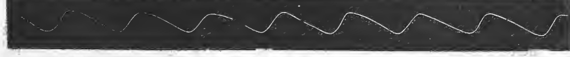


Fig. 21. — Cœur du mollusque, mouvement simple.

étrangères à la contraction du cœur lui-même, et qu'elles sont dues à des clôtures valvulaires, à des résistances passives ou à des afflux soudains du sang dans les cavités.

4° Enfin que tout cœur d'animal, battant à vide, ne donne plus qu'un mouvement simple, identique pour tous les animaux, et semblable à celui que le cœur si simple du *mollusque* présente dans les conditions de la fonction normale.

XXXVI. — *Sur un nouveau signe de l'insuffisance aortique.*

(Archives de physiologie.)

Les signes que fournit l'auscultation : bruit de souffle diastolique, la palpation des artères (pouls de Corrigan), ne suffisent pas pour caractériser l'*insuffisance aortique ;* certains anévrismes de l'aorte peuvent les présenter. Un nouveau signe est fourni par le tracé de la pulsation du cœur. Ce signe consiste en une réplétion du ventricule plus brusque et plus complète que dans les conditions normales. La forme caractéristique de ces tracés a été obtenue sur le cheval après la rupture des valvules sigmoïdes de l'aorte. Elle a été retrouvée sur une série de cas d'insuffisance aortique dont les observations sont consignées dans ce travail avec les tracés correspondants.

XXXVII. — *Cardiographe et Cardiographie.*

Description générale des appareils enregistreurs appliqués à l'étude des mouvements normaux ou pathologiques du cœur. Ce travail contient une portion inédite : celle qui montre comment se comportent les mouvements du cœur détaché de l'animal, soit que l'organe, vide de sang, batte sous un myographe, soit que, plein de sérum artificiel, il fonctionne mécaniquement et pousse le liquide dans un système de tubes élastiques. On voit, dans ces dernières conditions,

que le cœur donne des battements d'autant plus étendus qu'ils sont moins fréquents. De sorte qu'au bout de sept heures, quand les systoles étaient devenues huit fois plus rares, elles avaient environ huit fois plus d'amplitude qu'au début de l'expérience. Ce fait, rapproché de plusieurs autres, par exemple des phénomènes électriques qui accompagnent la systole du cœur, montre que chaque systole est une véritable secousse musculaire et que, dans la plénitude de sa fonction, le cœur se rapproche de l'état de contraction sans l'atteindre, c'est-à-dire sans fusionner entièrement ses systoles.

XXXVIII. — *Note sur la pulsation du cœur.*

(*Comptes rendus*, 1875, 1er semestre, t. LXXX, n° 3.)

Démonstration des différents éléments qui constituent la pulsation du cœur : changement de consistance et changement de volume de cet organe. En inscrivant ces deux éléments sur un cœur isolé qui continue à battre, on obtient, d'une part la courbe des changements de volume de l'organe, d'autre part la courbe des changements de consistance; l'addition géométrique des ordonnées de ces deux courbes reproduit exactement la courbe la pulsation du cœur telle qu'on l'obtient sur le vivant.

XXXIX. — *Nouveaux appareils explorateurs du cœur et du pouls artériel chez l'homme.*

(Physiologie expérimentale. — Travaux du laboratoire de M. Marey, 1875, p. 32 et 343.)

Ces appareils sont disposés de manière à transmettre à distance les mouvements qui doivent être inscrits; ils permettent donc d'obtenir simultanément les tracés du cœur et ceux du pouls, de manière à montrer à quelle forme de la pulsation du cœur correspond telle ou telle forme de pulsation artérielle. Les figures 22, 23, 24, ta-

FIG. 22. — Tracé de la pulsation cardiaque chez l'homme; effort; cessation de l'effort.

FIG. 23. — Tracé du pouls artériel recueilli avec le Sphygmographe à transmission en même temps que le tracé 22; un repère r signale dans les deux tracés l'instant où cesse l'effort.

FIG. 24. — Pouls inscrit au Sphygmographe à transmission, le bras étant levé; en a le bras est abaissé; en e le bras est levé de nouveau.

bleau II, fournissent un type de ce genre de tracés simultanés recueillies pendant un *effort*. Une ligne verticale *r* est tracée sur ces deux figures pour servir de repère, afin d'estimer les rapports de synchronisme ou de succession des différents mouvements qui se passent au cœur ou à l'artère radiale.

Les tracés de la pulsation du cœur sont plus faibles que ceux qui sont représentés tableau I, fig. 17; en outre, ils sont inscrits sur un cylindre qui tourne avec moins de vitesse, c'est là ce qui lui donne un aspect différent : ils sont en quelque sorte l'amplification de ceux du tableau II. Toutes les figures du tableau II ont été reproduites par l'*Héliogravure*; c'est à ce procédé seul qu'il faut recourir toutes les fois que les courbes présentent des détails que la main du graveur ne saurait reproduire fidèlement.

RESPIRATION.

XL. — *Mémoire sur l'étude graphique des mouvements respiratoires.*

(Lu à la Société de biologie, le 22 juillet 1865. — *Comptes rendus*, p. 175.)

L'importance des variations de fréquence et de rhythme des mouvements respiratoires, comme élément de diagnostic clinique, a présidé à ces recherches, desquelles il résulte :

1° Que les mouvements respiratoires se comportent, sous l'influence des résistances au passage de l'air respiré, sensiblement comme les mouvements du cœur sous l'influence des résistances au passage du sang. C'est-à-dire que, si le passage de l'air est difficile, les mouvements respiratoires se ralentissent et deviennent plus étendus.

2° Que si la respiration est gênée par une pression extérieure exercée sur la poitrine, la respiration s'accélère, à mesure qu'elle perd de l'amplitude.

Les autres conditions qui modifient les mouvements respiratoires sont exposées dans le mémoire suivant.

XLI. — *Pneumographie. — Étude graphique des mouvements respiratoires et des influences qui les modifient.*

(*Journal de l'anatomie et de la physiologie*, 1865, p. 425.)

Il résulte de ces recherches que les mouvements respiratoires peuvent être représentés graphiquement avec leurs caractères, et que ceux-ci peuvent renseigner utilement sur certains phénomènes inaccessibles à nos sens (1).

(1) Le graphique de la respiration s'obtient au moyen d'une ceinture qui fait manœuvrer une

A peine ébauchée, cette étude physiologique permet d'espérer que de nouveaux symptômes cliniques pourront être tirés de la forme que présente la respiration. Ce n'est pas trop donner à l'hypothèse que de prévoir, dès aujourd'hui, que les modifications morbides de la contractilité pulmonaire influenceront le rhythme des mouvements respiratoires, puisqu'elles doivent agir, dans un sens ou dans l'autre, comme obstacle à la respiration. Les faits acquis jusqu'ici sont purement physiologiques et peuvent se résumer dans les propositions suivantes :

1° Les mouvements du thorax et ceux de l'abdomen sont parfaitement parallèles entre eux à l'état normal, de sorte que si on les enregistre simultanément, ils fournissent le même tracé.

2° Les mouvements du thorax et de l'abdomen sont d'amplitude proportionnelle à la quantité d'air qu'ils mettent en mouvement..

3° On peut évaluer les volumes d'air respirés dans un temps donné d'après les amplitudes des mouvements respiratoires enregistrés graphiquement.

4° Il n'existe pas de rhythme normal ni de fréquence normale de la respiration, mais on peut déterminer les influences qui modifient cette fréquence et ce rhythme. L'auteur a étudié seulement l'influence des obstacles à la respiration. Voici comment ils agissent :

5° Si l'on respire par un tube étroit, on diminue la fréquence de la respiration, on en augmente l'amplitude, et l'on en change le rhythme en allongeant la période d'inspiration.

6° Si l'obstacle à la respiration n'existe que dans un sens, ce qui arrive lorsqu'on met une soupape dans le tube, on voit que cet obstacle allonge la période de la respiration pendant laquelle il agit.

7° Le rapport de fréquence des battements du cœur aux mouve-

sorte de petit soufflet sous l'influence des mouvements respiratoires. Cet appareil se met en communication, par un tube de caoutchouc, avec l'enregistreur représenté fig. 16.

TRACÉ DES MOUVEMENTS RESPIRATOIRES SUR L'HOMME SAIN.

Fig. 25. — Courbe A (ligne pleine), tracé normal de la respiration. — Courbe O (ligne ponctuée), respiration à travers un tube étroit. — Courbe B (ligne pleine), obstacle à l'inspiration produit par une soupape qui ferme incomplétement le tube à travers lequel on respire. — Courbe B (ligne ponctuée), obstacle à l'inspiration.

ments respiratoires est altéré lorsqu'il existe un obstacle au passage de l'air. Dans ces divers cas, en même temps que la respiration devient plus rare, les battements du cœur deviennent plus fréquents.

Pour inscrire les mouvements respiratoires chez les petits animaux, un bon moyen consiste à enfermer ceux-ci dans un espace clos et à les faire respirer au dehors avec un tube que l'on fixe à une muselière hermétique. Un tambour à levier, mis en rapport au moyen d'un tube avec l'espace clos, inscrit les compressions et dilatations alternatives que l'air y éprouve quand l'animal remplit et vide sa poitrine. Les tracés ainsi obtenus sont très-purs; les pulsations du cœur ne les compliquent pas, et ils ne sont pas influencés non plus par les mouvements de l'animal.

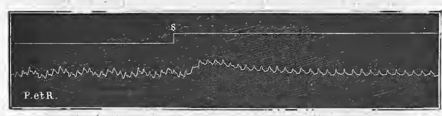


Fig. 26. — Tracé de la pulsation du cœur d'un lapin auquel on électrise le bout central du nerf vague. (On voit se produire l'arrêt des ondulations respiratoires et les mouvements du cœur se ralentissent un peu.

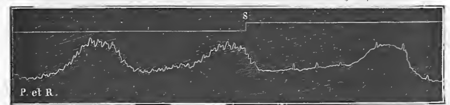


Fig. 27. — Tracé de la pulsation du cœur d'un lapin auquel on électrise le bout périphérique du nerf vague. (Arrêt presque complet du cœur, conservation des mouvements respiratoires.)

On obtient un bon tracé des mouvements respiratoires combinés avec les pulsations du cœur au moyen des explorateurs ordinaires. Ces tracés présentent en certains cas des avantages : ainsi, lorsqu'on veut connaître l'action de certains nerfs sur le cœur et sur la respiration; les figures 26 et 27 fournissent des exemples de ces expériences.

SYSTÈMES NERVEUX ET MUSCULAIRE.

XLII. — *Nouvelles expériences pour déterminer la vitesse de l'agent nerveux.*

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, février 1866, p. 21.)

Helholtz avait déjà déterminé la vitesse de l'agent nerveux qu'il évalue environ à 30 mètres par seconde. C'est par la méthode graphique que ce physiologiste était arrivé à la solution de ce problème. Mais cette expérience difficile à réaliser n'avait jamais été répétée, en France du moins; de plus, la mesure de cette vitesse se déduisant de la vitesse présumée de la rotation d'un cylindre, on pouvait objecter à l'expérience de Helmholtz que ce dernier élément n'y était pas déterminé assez rigoureusement.

La modification de la méthode qui est exposée dans cette note consiste :

1° Dans la construction d'un appareil très-simple enregistrant sur un cylindre les signaux nécessaires à la mesure cherchée;

2° Dans l'emploi du *diapason chronographe*, à la manière de M. Duhamel et de Wertheim, pour mesurer les durées avec une approximation d'un millième de seconde au moins.

XLIII. — *Nature de la contraction dans les muscles de la vie animale.*

(*Comptes rendus de l'Académie des scienees*, t. LXII, n° 22, 28 mai 1866, p. 1171.)

Description d'un nouvel appareil, *pince myographique*, pouvant s'adapter aux muscles de l'homme et traduire tous leurs mouvements,

d'après le gonflement extérieur qui accompagne toujours leur raccourcissement.

Distinction dans les muscles volontaires de deux sortes de mouvements provoqués :

1° La secousse, mouvement bref;

2° La contraction formée de la fusion de plusieurs secousses.

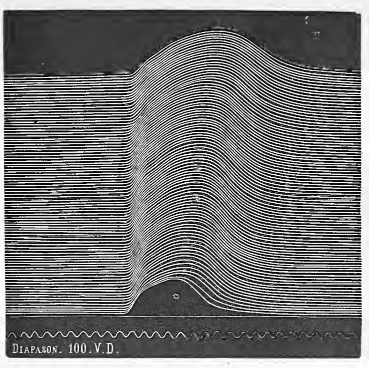


Fig. 28. — Secousses musculaires recueillies successivement, à une seconde et demie d'intervalles ; la courbe inférieure est formée par la première secousse ; la deuxième est immédiatement au-dessus, et ainsi de suite. On voit, par l'effet de la fatigue, s'accroître la durée et diminuer l'amplitude des secousses.

XLIV. — *De la systole du cœur, considérée comme acte musculaire.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences,* t. LXIII, p. 41.)

Cette note a pour but de prouver que *la systole du cœur ne correspond pas à une contraction,* laquelle est un phénomène complexe

(voy. n° XLV), *mais à une secousse*, c'est-à-dire au mouvement élémentaire.

La durée très-longue de la systole du cœur (vingt à trente fois plus longue que la secousse d'un muscle volontaire) n'exclut pas cette manière de voir, car chez certains animaux, la *tortue* par exemple, les muscles volontaires donnent une secousse au moins aussi longue que celle du cœur.

Une preuve directe de la nature simple de la systole peut être tirée de ce fait, que le cœur d'un animal, mis au contact du nerf d'une patte de grenouille, ne provoque dans cette patte qu'une secousse très-brève.

XLV. — *Etudes graphiques sur la nature de la contraction musculaire.*

(*Journal de l'anatomie et de la physiologie*, mars 1866, p. 225-242 et 403-416.)

Ce travail a été institué au moyen de nouveaux appareils, *myographes*, introduits en physiologie par Helmholtz, mais modifié par l'auteur afin d'enlever à leurs indications des erreurs dont il démontre l'existence.

Voici les conclusions qui terminent ce mémoire :

1° Quand les secousses se succèdent à des intervalles très-rapprochés, elles s'ajoutent les unes aux autres et produisent un raccourcissement du muscle beaucoup plus prononcé que ne l'eût fait chacune d'elles prise isolément.

2° Plus les secousses se succèdent rapidement, moins elles sont distinctes; à un certain dégré de fréquence, elles ne sont plus perceptibles à la vue ni aux appareils enregistreurs. Le muscle est alors en contraction; il semble être immobile dans le raccourcissement.

3° Lorsque la contraction est obtenue, l'accroissement de la fréquence des excitations se borne à augmenter l'intensité de l'effort du muscle.

4° Il semble que les contractions volontaires soient constituées aussi par des secousses d'autant plus fréquentes que l'effort est plus énergique.

5° Helmholtz avait admis qu'il fallait *trente-deux* secousses par seconde pour produire la tétanisation d'un muscle, c'est-à-dire sa contraction proprement dite. — L'expérience montre qu'il n'est pas possible de fixer à cet égard un chiffre absolu. En effet, un muscle fatigué se contracte sous l'influence de secousses moins nombreuses; de plus, chez les différents animaux, le nombre de secousses nécessaires pour la contraction varie beaucoup.

6° Les muscles volontaires d'un même animal semblent différer entre eux au point de vue de leurs fonctions, mais les muscles de la vie organique se distinguent tout particulièrement en ce qu'ils ne

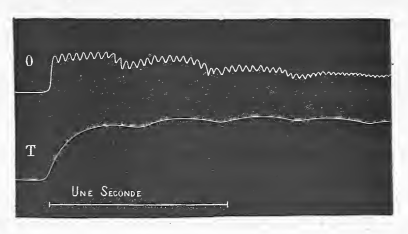


Fig. 29. — Graphique des secousses musculaires de l'oiseau, O, et de la tortue, T. On voit qu'il est possible de provoquer chez l'oiseau un très-grand nombre de secousses distinctes (70 par seconde), au moyen d'excitations électriques de fréquence croissante; tandis que chez la tortue, on obtient la fusion presque complète des secousses si l'on en provoque trois ou quatre par seconde.

paraissent pas susceptibles de *se contracter*, c'est-à-dire de produire des secousses multiples qui se fusionnent entre elles.

7° Tout muscle qui entre en action ne peut induire dans un autre

muscle que l'acte qu'il exécute lui-même. La secousse induit la secousse, la contraction induit la contraction.

8° Les muscles volontaires, étudiés sur diverses espèces animales, montrent tantôt des secousses très-lentes, comme chez la *tortue* et chez les *crustacés*, tantôt des secousses très-rapides, comme chez l'*oiseau*.

9° La contraction s'obtenant avec d'autant moins de secousses que celles-ci sont plus longues, il s'ensuit que la patte d'une *tortue* est presque contractée avec trois ou quatre secousses par seconde, tandis que les pectoraux d'un *oiseau* ne le sont pas encore avec soixante-quinze secousses dans le même temps.

XLVI. — Cours public (1) *sur la fonction des nerfs et des muscles.*

(Sept leçons ont été publiées dans la *Revue des cours scientifiques*, nos 10, 12, 20, 21, 25, 33, 34, année 1866.)

Les faits nouveaux publiés dans ce cours sont développés et complétés dans le cours fait l'année suivante au Collége de France.

XLVII. — *La physiologie dans ses rapports avec la science moderne.*

(*Annuaire scientifique de Dehérain*, 1866.)

Dans cet article sont passés en revue les progrès des sciences obtenus par le perfectionnement des appareils. La tendance de la physiologie à se rapprocher des sciences physiques est signalée, et la théorie de l'action musculaire est esquissée comme type de l'intervention de la mécanique dans les sciences naturelles.

(1) Ce cours a été fait par M. Marey dans son laboratoire particulier, rue de l'Ancienne-Comédie, n° 14.

XLVIII. — *Note sur un nouveau Chronographe.*

(*Journal de physique*, janv. 1874. p. 137.)

Cet instrument se prête à l'inscription permanente du temps; il inscrit ordinairement le centième de seconde; on l'emploie beaucoup plus facilement que le diapason, car il peut écrire en même temps que d'autres appareils. Cet instrument est très-utile dans les mesures de la vitesse de transmission de l'agent nerveux, dans l'estimation des fréquence d'actes rapides comme les mouvements des ailes des insectes ou les secousses des muscles chez les animaux empoisonnés par la strychnine.

XLIX. — **Du mouvement dans les fonctions de la vie.**

(Un volume in-8° de 500 pages. Paris, 1867, Germer Baillière.)

Après un historique de la méthode graphique employée dans les sciences expérimentales et particulièrement en physiologie, et après un exposé de l'extension qu'il a donnée à cette méthode, l'auteur énumère les tentatives qu'il a faites suivant un autre ordre d'idées. Il s'agit du contrôle expérimental des théories déduites de l'analyse des phénomènes physiologiques et de la reproduction synthétique de certains phénomènes au moyen d'appareils schématiques.

Le *schéma* étant construit de façon à réunir les conditions mécaniques et physiques auxquelles on attribue théoriquement la production d'un phénomène physiologique, doit, si la théorie est vraie, reproduire ce même phénomène. Les principaux appareils décrits dans cet ouvrage sont les suivants :

1° *Schéma* de la circulation du sang avec les variétés du pouls, la locomotion artérielle, les bruits de souffle, les anévrysmes et leurs effets sur le pouls.

2° *Schéma* du choc du cœur et des bruits de cet organe.

3° *Schéma* des phénomènes mécaniques de la respiration; du vide de la plèvre, etc.

4° *Schéma* du rôle de l'élasticité vasculaire dans la circulation du sang.

5° *Schéma* du rôle de l'élasticité des muscles dans la contraction.

Plus loin, l'auteur, remontant à l'origine de la plupart des mouvements qui se passent chez les être vivants, cherche à determiner la nature de l'action musculaire.

Après avoir développé les idées émises dans les publications XLIII, XLV, XLVI, sur la complexité de la contraction, il cherche comment chacun des agents qui modifient la fonction du muscle : chaleur, froid, augmentation ou diminution du cours du sang, poisons, etc., agit sur la secousse musculaire. Il trouve que tous ces agents modifient la secousse de la manière que la théorie eût pu faire prévoir à l'avance,

Comme le but des recherches de physiologie est, en définitive, d'éclairer la médecine, l'auteur s'est préoccupé de rendre applicables à l'homme les appareils qui fournissaient l'indication précise des différentes variétés de l'acte musculaire. A cet effet, il a construit un appareil qui traduit graphiquement soit les secousses, soit les contractions des muscles humains.

Le gonflement transversal d'un muscle étant toujours proportionnel à son changement de longueur, on saisit le muscle que l'on veut explorer entre les branches d'un appareil, la *pince myographique*, qui transmet fidèlement à l'enregistreur la forme du mouvement exécuté par le muscle. Les expériences faites sur l'homme concordent avec celles qui ont été faites sur les autres mammifères. La figure 31, pl. III, représente l'établissement d'un régime régulier de secousses musculaires chez l'homme.

Il est vraisemblable que les troubles de la motricité chez l'homme

Fig. 30. — Modifications graduelles de la secousse musculaire sur une grenouille empoisonnée par la vératrine. En bas et à gauche de la figure est une secousse qui a légèrement subi l'influence du poison. Cette influence se prononce de plus en plus dans la série qui s'échelonne de gauche à droite.

Fig. 31. — Modifications d'amplitude et de forme que subit la secousse d'un muscle soumis à des charges graduellement croissantes.

malade s'éclaireront beaucoup lorsque ces procédés seront transportés dans l'étude clinique, et que les applications de la méthode à la fonction de motricité ne seront pas moins fructueuses que celles qui ont déjà été faites sur la fonction circulatoire.

L'*élasticité* des muscles joue un grand rôle dans la contraction ; des expériences nouvelles ont été instituées pour la mesurer sur le muscle en repos ou en action.

Un nouvel appareil permet d'apprécier en un instant les phases de l'allongement d'un muscle sous des charges régulièrement croissante. Il montre que le muscle actif est plus extensible que le muscle au repos, sous la charge de plusieurs poids additionnels ; tandis que, sous une plus forte charge, c'est l'inverse qui se produit.

Études sur les caractères de la *secousse* ou mouvement élémentaire provoqué par une seule excitation du nerf.

Les expériences instituées sur ce sujet ont démontré les points suivants :

1° L'amplitude du mouvement produit croît, avec l'intensité de l'excitant employé, jusqu'à une certaine limite.

2° La fatigue du muscle prolonge le mouvement, mais en diminue l'amplitude.

3° La ligature de l'artère afférente du muscle produit des effets très-analogues à ceux de la fatigue. Tableau VI, fig. 33.

4° Le froid allonge énormément la durée des secousses musculaires, mais cet effet n'est que temporaire. Tableau IV, fig. 32.

5° La chaleur abrége la secousse en lui donnant plus d'amplitude, fig. 34, mais, à un certain degré, elle produit la coagulation des éléments liquides du muscle et éteint la secousse. Tableau IV, fig. 35.

6° La charge à laquelle un muscle est soumis augmente d'abord, puis diminue graduellement l'amplitude de la secousse. Tableau III, fig. 31.

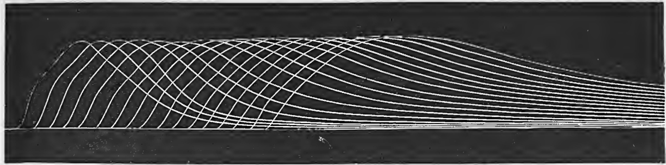


Fig. 32. — Influence du froid sur la secousse musculaire; elle en prolonge la durée.

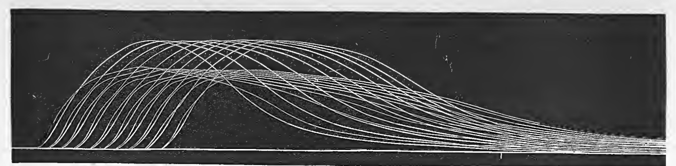


Fig. 33. — Influence de la ligature artérielle. Elle donne à la secousse moins d'amplitude et de durée. (Tracé comparatif du mouvement dans les deux pattes d'une grenouille, l'artère de l'une des pattes est liée.)

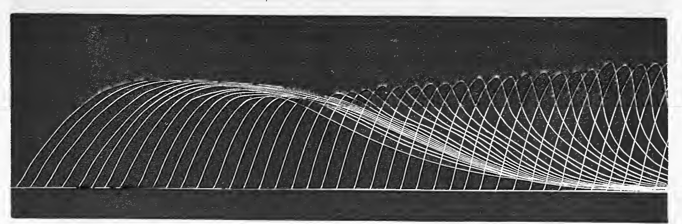


Fig. 34. — Influence de la chaleur sur la secousse musculaire à un degré peu élevé (au-dessus de 30° centigr.), elle augmente l'amplitude et diminue la durée de ce mouvement. La chaleur à un degré plus élevé, elle coagule la myasine et éteint la contractilité du muscle.

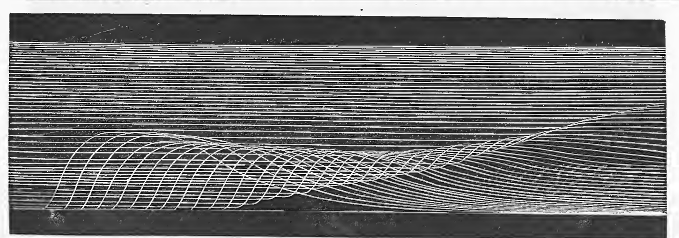


Fig. 35. — Influence de la chaleur fournie jusqu'à la suppression de l'action musculaire.

7° Un obstacle absolu au raccourcissement d'un muscle prolonge la tendance au raccourcissement de ce muscle.

8° Un muscle directement excité par un courant induit se raccourcit d'autant plus que la portion du muscle placée entre les deux extrémité du fil métallique excitateur est plus longue. Tableau V, fig. 38.

Les différents *poisons* qui ont une action spéciale sur les nerfs et sur les muscles sont étudiés par la méthode graphique. On trouve pour différents poisons des caractères qui pourraient servir de *réactif physiologique* au point de vue médico-légal, pour la recherche de petites quantités d'un poison organique.

La *vératrine*, tableau III, fig. 30, la *strychnine*, tableau V, fig. 36, le *curare*, la *digitaline*, la *picrotoxine*, donnent un caractère spécial au mouvement provoqué, dans un muscle de grenouille, par une excitation électrique du nerf moteur qui l'anime.

On peut démontrer que le tétanos produit par la *strychnine* se compose de secousses multiples, ainsi que la théorie le faisait prévoir. Ces secousses sont visibles sur le graphique obtenu dans les expériences. Tableau V, fig. 36.

Détermination de la *vitesse de l'agent nerveux sensitif* et de la durée nécessaire à la production des mouvements réflexes.

Théorie de la contraction des muscles soumis à la volonté.

Vérification de l'opinion d'Aeby, qui admet que chaque raccourcissement d'un muscle est produit par l'apparition d'une *onde* qui se produit sur les fibres musculaires et chemine d'un bout à l'autre de ces fibres.

Nouvelle démonstration de l'existence de cette onde ; mesure de la vitesse de son transport.

Preuve de l'existence de plusieurs ondes à la fois dans un muscle tétanisé.

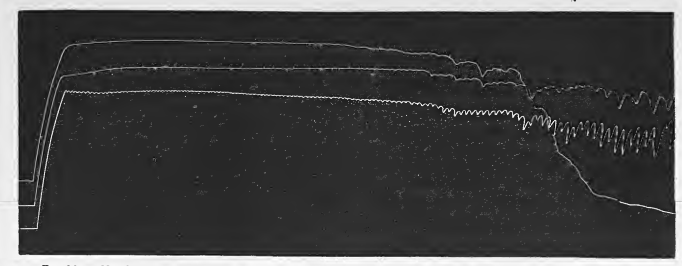


Fig. 36. — Muscles de la grenouille. Graphique de trois accès de tétanos provoqués par la strychnine. On y voit les secousses incomplètement fusionnées dans le premier graphique (l'inférieur), où elles se traduisent par de fortes ondulations de la courbe. Ces secousses se fusionnent plus complètement dans les deux autres graphiques, la vibration n'y est visible qu'à la fin du tracé, à l'instant qui précède le relâchement du muscle.



Fig. 37. — Muscles de l'homme. Établissement d'un régime régulier de secousses sous l'influence d'excitations électriques équidistantes. Fusion des secousses par la fatigue. — Ce tracé est obtenu au moyen de la pince myographique.

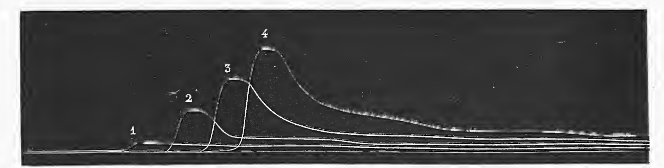


Fig. 38. — Amplitude du mouvement provoqué lorsqu'on excite directement le muscle en faisant passer le courant sur une longueur plus ou moins grande. — 1, faible longueur du muscle; 2, longueur plus grande, etc.

L. — *Des phénomènes intimes de la contraction musculaire.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 27 janv. 1868.)

Complément d'explications sur le mécanisme par lequel les secousses se fusionnent dans la contraction musculaire.

Démonstration de ce fait : que l'élasticité d'une fibre musculaire change en raison du nombre d'ondes formées sur sa longueur. (L'extensibilité de cette fibre croît avec le nombre des ondes.)

Interprétation de la fusion de plus en plus complète des secousses de fréquence croissante par les changements de l'extensibilité du muscle.

LI. — *Du rôle de l'élasticité des muscles dans la contraction.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, n° 10, p. 293, 1868. Note présentée par M. Delaunay.)

La conclusion de cette note est que l'élasticité des muscles permet aux forces de très-courte durée, engendrées par la formation de chaque onde musculaire, de se transformer en travail et que, sans cette élasticité, les mêmes forces se détruiraient dans des *chocs*.

Une expérience montre, à l'appui de cette théorie, qu'une force vive, appliquée directement à soulever une masse, ne la met pas en mouvement, tandis que le soulèvement se produit si cette même force est appliquée par l'intermédiaire d'un ressort élastique.

On trouvera plus loin des applications pratiques de ces expériences ; elles ont pour objet la meilleure utilisation du travail des moteurs animés.

MÉCANIQUE ANIMALE.

LII. — *Mémoire sur le vol des insectes et des oiseaux.*

Bibliothèque des hautes études, travaux du laboratoire de M. Marey.

(Ce mémoire, inséré dans les *Annales des sciences naturelles*, a été traduit, en Amérique, par la Société smithsonienne.)

1° *Vol des insectes.*

Détermination expérimentale de la fréquence des coups d'ailes chez différentes espèces d'insectes.

De la trajectoire décrite dans l'espace par l'aile de l'insecte.

a. Méthode optique. — *b.* Méthode graphique. — De ces deux mé-

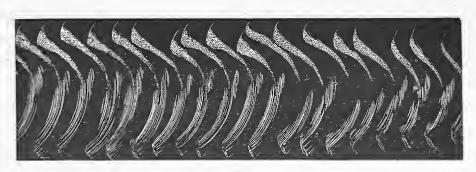


Fig. 39. — Tracé direct du mouvement de l'aile d'un insecte (macroglosse).

thodes contrôlées l'une par l'autre, il résulte que l'aile de l'insecte décrit dans l'espace un huit de chiffre.

Détermination du sens du mouvement de l'aile.

Démonstration de l'existence de changements du plan de l'aile pendant le vol.

Reproduction schématique du vol de l'insecte.

2. *Du vol des oiseaux.*

Considérations générales sur les forces qui agissent dans le vol.

a. De la force *statique* des muscles de l'oiseau. Chez une buse, le poids maximum que puisse soulever chaque grand pectoral est de 12^k,500. La force *spécifique* du muscle de cet oiseau serait de 1298 grammes pour un faisceau de 1 centimètre carré de section.

b. Rapidité d'action du muscle de l'oiseau. Cette rapidité est plus grande que chez l'homme. Ainsi, tandis que le muscle humain consomme 6 à 8 centièmes de seconde pour accomplir sa secousse, le muscle de l'oiseau n'emploie que 4 centièmes de seconde environ.

c. Des différentes *formes du travail* musculaire. Considérations relatives à l'appareil musculaire de l'oiseau qui, suivant la surface de ses ailes, donne des battements d'étendues différentes. Un oiseau à faible surface d'ailes exécute des battements étendus, dont chacun éprouve peu de résistance de la part de l'air, tandis qu'un oiseau à grande surface d'ailes exécute des battements peu étendus, mais dont chacun exige un plus grand effort. En conséquence, les masses musculaires, dont la longueur est proportionnelle à l'étendue du mouvement qu'elles produisent, sont réparties en faisceaux minces et allongés chez les oiseaux pourvus de faibles surfaces d'ailes (canards, guillemots, etc.), tandis qu'elles forment des masses grosses et courtes chez les oiseaux qui ont des ailes à grandes surfaces (aigle, frégate, etc.). Vérification de cette loi sur les squelettes d'oiseaux des galeries zoologiques.

Conditions anatomiques du vol.

a. Forme de l'oiseau, ses effets.

b. Conditions de stabilité : position du centre de gravité au-dessous de la surface de suspension.

c. Planement et glissement dans l'air; appareils reproduisant ces effets de planement.

d. Rapport de la surface des ailes au poids du corps de l'oiseau. — Plus la masse de l'oiseau est grande, plus est faible, relativement, la surface de ses ailes. Détermination de ce rapport sur un grand nombre d'espèces d'oiseaux.

Expériences sur le vol de l'oiseau.

a. Fréquence des mouvements de l'aile chez différentes espèces d'oiseaux. La fréquence des battements décroît quand la taille de l'oiseau augmente.

b. Méthode électrique pour estimer la durée relative des mouvements d'élévation et d'abaissement de l'aile. Le temps d'abaissement est toujours plus long que celui d'élévation.

c. Méthode graphique appliquée à l'action des muscles pectoraux pendant le vol. Confirmation de la loi précédente. Démonstration du ralentissement du coup d'aile descendant sous l'influence de la résistance de l'air.

Des mouvements que l'aile de l'oiseau exécute dans le vol.

a. Construction d'un instrument capable d'enregistrer tous les mouvements qu'un point mobile peut décrire dans un plan. Cet appareil permet d'écrire à une grande distance une figure tracée sur un plan par l'instrument explorateur.

b. Détermination de la trajectoire décrite par la pointe de l'aile dans l'espace. Cette trajectoire est une ellipse irrégulière dont le grand axe est incliné en bas et en avant.

LIII. — *Reproduction mécanique du vol des insectes.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 15 mars 1869.)

Ce mécanisme a été construit à titre de vérification de la théorie émise précédemment; il montre qu'il suffit d'un simple mouvement de va-et-vient imprimé à l'aile de l'insecte pour produire le phéno-

mène du vol. La résistance de l'air provoque dans l'aile des mouvements de torsion de la nervure et donne naissance au huit de chiffre signalé par la méthode optique.

L'inclinaison du plan d'oscillation de l'aile par rapport à l'horizon produit toutes les directions possibles du vol : le vol ascendant, la translation en avant ou en arrière, et les mouvements de latéralité.

LIV. — *Des mouvements que le corps de l'oiseau exécute dans le vol.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 14 novembre 1870.

Expériences qui prouvent que l'oiseau, à chaque révolution de son aile, soulève deux fois son corps :

Une première fois, au moment où il abaisse l'aile, ce qui se comprend aisément.

Une seconde fois au moment où il relève son aile. Ce mouvement se fait sous l'influence de la vitesse acquise de l'oiseau, et par un mécanisme analogue à celui du *cerf-volant*.

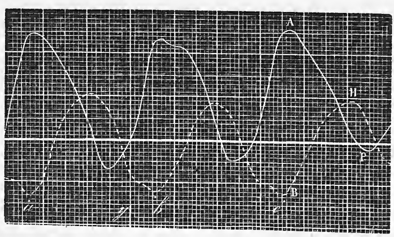


Fig. 40. (Se lit de gauche à droite.) — AP, courbe pleine; mouvements de l'aile d'avant en arrière. — HB, courbe ponctuée; mouvements de l'aile de haut en bas (tracés recueitlis sur un pigeon).

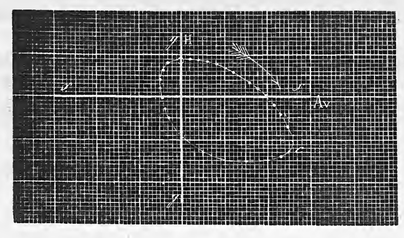


Fig. 41.— Courbe fermée de la trajectoire de l'aile d'un pigeon, construite d'après les deux courbes de la figure 40. Une flèche indique le sens du mouvement. L'écartement plus ou moins grand des points exprime la vitesse plus ou moins grande de l'aile aux différents instants de son parcours.

LV. — *Réponse à une revendication de priorité de M. Pettigrew pour la description du parcours en huit de l'aile de l'insecte pendant le vol.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences,* 16 mai 1870.)

L'auteur constate que si M. Pettigrew a vu la figure décrite par l'aile de l'insecte pendant le vol, il a interprété la formation de cette figure d'une façon tout à fait inadmissible, en supposant que le plan de l'aile est doué d'un mouvement hélicoïdal.

LVI. — *Sur le mécanisme du vol des oiseaux.*

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences,* 6 juin 1870.)

Détermination de la fréquence des battements de l'aile chez différentes espèces d'oiseaux.

Présentation d'un appareil qui trace la courbe que décrivent dans l'espace les pointes des ailes d'un oiseau.

LVII. — *Leçons sur le vol des oiseaux, faites au collége de France, en 1870.*

Ces leçons ont été publiées en partie dans la *Revue des cours scientifiques.* Voici les principaux faits nouveaux qu'elles renferment.

Parallèle du vol de l'insecte et de celui de l'oiseau.

a. Différence de la trajectoire de l'aile chez ces deux ordres d'animaux, démonstration de la supériorité du vol de l'oiseau au point de vue de l'utilisation de la force dépensée.

b. Rôle différent des deux parties, interne et externe, de l'aile. La première agit presque exclusivement pour produire l'effet de cerf-volant; la seconde, animée d'une grande vitesse, trouve dans l'air une bien plus grande résistance; c'est pourquoi ses pennes sont beaucoup plus fortes.

LVIII. — *Tentatives de reproduction synthétique du vol de l'oiseau.*

a. Conditions mécaniques du phénomène. Manière dont la force se partage entre l'air à déplacer et le corps de l'oiseau qui est soulevé. Les choses se passent d'une façon analogue à ce qui se produit pour la force de la poudre qui se partage entre la pièce qui recule et le boulet qui est lancé. La quantité du mouvement MV est égale de part et d'autre, mais la quantité de travail est très-inégale.

b. Imitation synthétique d'un coup d'aile descendant. Construction d'un appareil qui se soulève par l'abaissement de ses ailes.

En chargeant la machine de poids croissants; en faisant varier la force du ressort qui abaisse les ailes; en augmentant ou en diminuant la surface de celles-ci, on voit que l'élévation de la machine varie de la manière suivante :

La hauteur du soulèvement croît avec la force du ressort;

Elle croît avec la surface des ailes;

Elle diminue par l'accroissement du poids dont on charge la machine.

Ces variations se font suivant un rapport assez simple, moins simple toutefois que celles du *travail* qui décroît exactement en raison de l'accroissement de la charge.

c. Applications physiologiques des expériences précédentes.

On peut s'assurer que la force des muscles de l'oiseau est précisément celle que la théorie indique et qui doit se calculer de la manière suivante :

La résistance de l'air sous chacune des ailes doit être un peu supérieure à la moitié du poids de l'oiseau.

Le point d'application de cette résistance a lieu sensiblement à la réunion du tiers externe et des deux tiers internes de l'aile, ce qui permet de déterminer, par la mensuration directe de l'aile d'un oiseau, le bras de levier au bout duquel agira la résistance de l'air.

La dissection de l'oiseau montre, d'autre part, quelle est la longueur du bras de levier au bout duquel agit la puissance musculaire. On connaît enfin, par des expériences directes, la force statique du muscle grand pectoral de l'oiseau.

Avec ces données et sachant que le *moment* de la puissance musculaire doit être un peu supérieur à celui de la résistance de l'air, il est facile d'établir l'équation de la puissance et de la résistance.

L'exactitude de ce rapport, tel qu'il a été indiqué plus haut, a été vérifiée sur la buse et sur le pigeon.

LIX. — *Détermination des inclinaisons du plan de l'aile aux différents instants de sa révolution.*

(*Comptes rendus*, 1872, 1er semestre, t. LXXIV, n° 9.)

Le problème à résoudre consistait à inscrire à la fois trois actes différents se passant à plusieurs mètres de distance des appareils

inscripteurs. Trois courbes furent obtenues simultanément : l'une AP pour les mouvements que l'aile exécute d'avant en arrière; l'autre HB

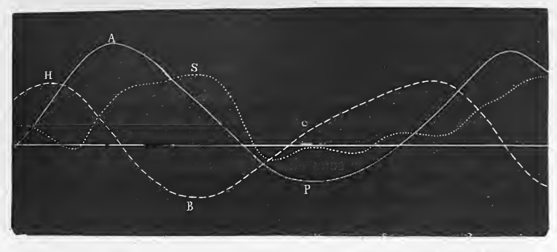


Fig. 42. — AP mouvement de l'aile d'avant en arrière; HB mouvements de haut en bas; S courbe des changements de plan de l'aile (ces tracés ont été recueillis sur la buse).

pour ceux qu'elle exécute de haut en bas; la troisième enfin, S, correspondait aux changements de place de l'aile pendant les différents instants du vol.

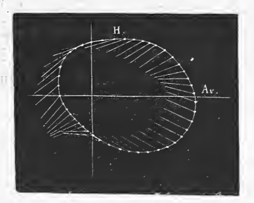


Fig. 43. — Trajectoire de l'aile d'une buse avec inclinaison du plan de l'aile aux différents points de cette trajectoire (cette figure est construite d'après les courbes de la figure 49).

D'après ces courbes de différents actes isolés on obtint la fig. 43

qui représente la trajectoire de l'aile d'une buse avec l'inclinaison de son plan aux différents points.

LX. — *Des allures du cheval étudiées par la méthode graphique.*

(*Comptes rendus*, 2e semestre, t. LXXV, n° 16, 1872.)

En présence des désaccords qui règnent entre les différents auteurs sur le mécanisme des allures du cheval, l'auteur s'est adressé à la méthode graphique qui lui a paru seule capable de mesurer des durées et des successions que l'œil ne saurait saisir. La théorie que les expériences ont confirmée était, pour l'allure du *pas*, celle de Vincent et Goiffon Bouley, etc., contrairement aux opinions de Lecoq et de Raabe.

LXI. — *Des allures du cheval étudiées par la méthode graphiques.*

(*Comptes rendus*, 2e semestre, t. LXXV, n° 19, 1872.)

L'allure du *trot* étudiée par la méthode graphique a montré : que, d'une manière générale, les temps d'appui des pieds sur le sol sont plus longs que ceux de suspension; que lorsque les pieds ne touchent pas terre, l'animal est à son minimum de hauteur, contrairement à l'opinion qui admettait que la suspension est une espèce de saut de l'animal; que les *réactions* ascendantes, à la croupe ou au garrot, se produisent aux moments des appuis sur le sol; que le *trot décousu* est la transition naturelle pour arriver à l'allure du pas ou à celle du galop.

LXII. — *De la locomotion terrestre chez les bipèdes et les quadrupèdes.*

(*Journal de l'anatomie et de la physiologie*, de M. Ch. Robin, janv. 1873.)

Résumé des différentes expériences faites pour la détermination des mouvements aux différentes allures normales.

LXIII. — *De l'uniformité du travail du cœur lorsque l'organe n'est soumis à aucune influence nerveuse extérieure.*

(*Comptes rendus*, 2e semestre, t. LXXVII, n° 5, 1873.)

L'auteur avait établi depuis douze ans que le cœur règle le nombre de ses mouvements sur les résistances qu'il éprouve à se vider, c'est-à-dire sur la pression artérielle qu'il doit soulever. Or, en 1867, MM. Ludwig et Cyon crurent avoir démontré qu'un nerf particulier, qu'ils nomment *dépresseur*, a pour effet, quand on excite son bout central, de relâcher les vaisseaux de l'instestin, de faire ainsi baisser la pression artérielle, et consécutivement de ralentir les battements du cœur.

L'interprétation des phénomènes observés par les auteurs allemands n'est pas exacte, et c'est à quelque influence nerveuse reflexe s'exerçant par les nerfs cardiaques qu'il faut attribuer le ralentissement des mouvements du cœur. Ce ralentissement, effet primitif d'une influence nerveuse, entraîne nécessairement après lui l'abaissement de la pression artérielle qui n'est que secondaire.

En effet, un cœur de tortue *isolé*, soustrait par conséquent à toute influence nerveuse extérieure, se ralentit lorsqu'il trouve devant lui une pression forte, s'accélère s'il trouve une pression faible. Ces expériences ont été faites en présence de l'Académie. Un cœur de tortue était placé sur un système circulatoire artificiel, formé de tubes élastiques remplis de sang de bœuf défibriné ; on réglait, par un robinet, la résistance au mouvement de ce sang. Le cœur se ralentissait ou accélérait ses mouvements, suivant que les résistances augmentaient ou diminuaient. Ainsi, le cœur soustrait à toute influence nerveuse, puisqu'il est détaché du corps, accélère ses mouvements si la pression du sang qu'il doit soulever diminue, et réciproquement.

LXIV. — La machine animale.

(1 vol. in-8, *Bibliothèque scientifique internationale*, 1873, 300 pages, 117 fig.)
(Cet ouvrage a été traduit en Angleterre, en Amérique, en Russie et en Allemagne.)

Ce volume contient, à la suite de considérations sur les forces

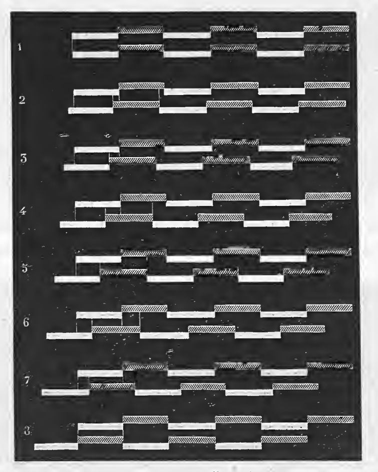


Fig. 44. — Notation des allures du cheval.
1 Amble. — 2 Amble rompu. — 3 *Id.* — 4 Pas normal (Lecoq). — 5 *Id.* (Bouley).
6 Pas normal (Raabe). — 7 Trot décousu. — 8 Trot ordinaire.

physiques qui sont en jeu dans l'organisme vivant, l'exposé des

expériences faites par l'auteur en vue de déterminer le mécanisme des différents modes de locomotion :

Toutes les allures de la locomotion humaine, celles des mammifères et particulièrement du cheval Le mécanisme du vol des insectes ou la production artificielle de ce mécanisme. L'analyse des différents actes qui se produisent dans le vol des oiseaux : trajectoires des ailes, changement de leur plan, propulsion saccadée et oscillations verticales de l'animal. Un grand nombre de chapitres de cet ouvrage sont inédits; les autres contiennent les développements complets des recherches exposées dans différentes communications antérieures.

LXV. — *Nouvelles expériences sur la locomotion humaine.*

(*Comptes rendus*, 1874, 2e série, LXXIX, n° 2.)

Contrairement à l'opinion des frères Weber, l'auteur montre, par des expériences, que la jambe, pendant la marche, n'oscille pas à la manière d'un pendule, sous l'influence de la pesanteur seule, mais qu'elle se transporte, d'un mouvement sensiblement uniforme, sauf tout à fait au commencement et à la fin de son mouvement. Il y a

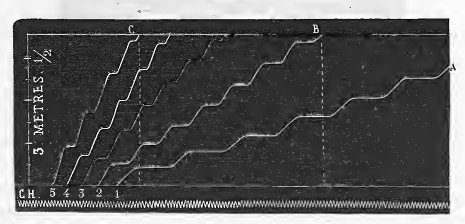


Fig. 45. — Courbes des espaces parcourus à chaque instant par le pied d'un homme qui chemine à différentes allures.

donc intervention des muscles dans les mouvements de la jambe. Ce fait est vrai à toutes les allures.

Une méthode analogue a été employée pour étudier le mouvement de transport du corps en avant pendant la marche et les différentes allures. Un résultat important, c'est que les allures les plus rapides sont celles dans lesquelles le transport du corps est le plus uniforme. L'inverse a lieu relativement aux oscillations verticales qui ont leur maximum aux allures rapides.

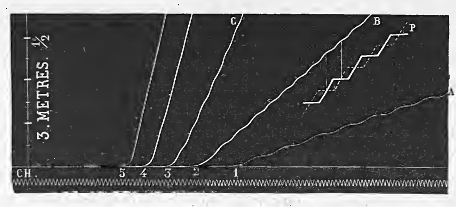


Fig. 46. — Courbes des espaces parcourus à chaque instant par le tronc d'un homme qui chemine à différentes allures.

LXVI. — *Physiologie du vol des oiseaux; du point d'appui de l'aile sur l'air.*

(*Comptes rendus*, 1er semestre, t. LXXVIII, n° 2, 1874.)

L'auteur croyait avoir indiqué le premier que les mouvements de l'aile d'un oiseau trouvent, sous l'influence de la translation, une plus grande résistance de la part de l'air ; MM. Planavergne ont réclamé la priorité de cette idée ; mais la démonstration expérimentale a été donnée pour la première fois dans cette note. Deux sortes d'expériences ont été faites, l'une dans le vol rectiligne, l'autre dans le vol circulaire; elles montrent que, par l'effet de la translation de l'oiseau, l'aile rencontre sans cesse de nouvelles colonnes d'air sur lesquelles elle s'appuie et dont elle doit vaincre l'inertie.

Un rapport a été fait (1) au nom d'une commission composée de MM. Bertrand Résal et Tresca, rapporteur, concluant à l'exactitude des résultats expérimentaux et des interprétations.

LXVII. *Du moyen d'économiser le travail, moteur de l'homme et des animaux.*

(Bulletin de l'Association française pour l'avancement des sciences. Session de Lille, 22 août 1874.)

Après avoir démontré que les chocs consomment, en pure perte, du travail mécanique dans la plupart des modes de traction des fardeaux, tant par l'homme que par les animaux, et surtout dans les allures rapides, l'auteur rend compte d'expériences dans lesquelles ces chocs sont atténués. Il a affectué des mesures graphiques du travail dépensé pour faire parcourir à une voiture un même espace, sur la même route et avec la même vitesse, dans des conditions d'attelage différentes; il a constaté que l'on pouvait réaliser une économie de vingt-six pour cent, en certains cas, sur la dépense du travail moteur. Cet avantage était obtenu, lorsque la traction, au lieu d'être faite à l'aide de traits rigides, était faite au moyen d'intermédiaires élastiques.

LXVIII. — *Mouvements des ondes liquides dans les tubes élastiques.*

(*Journal de physique théorique et appliquée*, septembre 1875.)

Description des appareils et résultats d'expériences faites sur la vitesse du mouvement des ondes liquides et sur leur transformation aux différents points de la longueur du tube.

(1) *Comptes rendus*, 1er semestre, t. LXXVIII, nº 7.

PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE.

LXIX. — *Le transformisme et la physiologie expérimentale.*

(Leçons faites au Collége de France et publiées dans la *Revue scientifique*, 1er mars 1873.)

Dans ces leçons, on montre qu'il existe une relation constante entre la forme d'un muscle et la manière dont celui-ci effectue son travail; que suivant les différentes positions de son attache mobile, chez les différentes espèces animales, un même muscle se trouve dans des conditions dynamiques différentes; il prend alors des aspects différents: son tendon devient plus long et sa fibre rouge plus courte, si l'insertion a lieu dans le voisinage d'une articulation; le tendon disparaît au contraire et la fibre rouge s'allonge, si l'attache du muscle est plus loin de l'articulation.

Certains cas pathologiques montrent qu'un muscle dont le mouvement est devenu plus ou moins étendu que dans les conditions normales, se modifie dans sa structure pour s'adapter à sa fonction nouvelle. On peut, à volonté, modifier la conformation des muscles par un exercice approprié. Ces modifications deviendraient-elles héréditaires, telle est la question que l'expérience devrait résoudre pour soutenir ou pour combattre l'hypothèse de transformisme.

La forme des surfaces articulaires est aussi dans un rapport constant avec le mouvement qui s'exécute entre elles. Les mouvements bornés engendrent des surfaces d'un grand rayon de courbure; les mouvements étendus, des surfaces d'un court rayon.

Les lois dynamiques du travail musculaire permettent certaines prévisions relatives à la conformation anatomique des êtres; elles ont conduit l'auteur à conclure que chez les oiseaux qui ont l'aile

courte et étroite, le sternum doit être long, tandis que le sternum doit être court chez ceux dont les ailes sont longues et à grande surface. L'anatomie comparée justifie ces prévisions.

LXX. — *Électricité de la torpille.*

Les décharges électriques de la torpille sont soumises à la volonté; elles peuvent se produire à titre de mouvements réflexes; la strychnine en provoque une série, comme elle provoque dans les muscles une série de secousses produisant le tétanos.

Ces anologies entre l'appareil électrique et l'appareil musculaire prennent une grande importance, aujourd'hui que la conservation de la force et ses transformations sont devenues familières aux physiologistes. Il s'agissait donc de savoir si l'appareil de la torpille fait de l'électricité dans les mêmes conditions où le muscle fait du travail mécanique, ce qui pouvait se juger en partie en répétant sur l'appareil de la torpille les expériences qui avaient été faites sur les muscles. C'est d'après ce plan qu'ont été instituées les expériences suivantes.

Du temps qui s'écoule entre l'excitation du nerf électrique de la torpille et la décharge de son appareil.

(*Comptes rendus*, 1871, 2e semestre, 9 octobre)

Ce temps est sensiblement le même que celui qui s'écoule entre l'excitation d'un nerf moteur et la *secousse* du muscle correspondant.

LXXII. — *Détermination de la durée de la décharge électrique chez la torpille.*

(*Comptes rendus*, 16 octobre 1871.)

Cette durée est d'environ 1/14e de seconde; elle est donc très voisine de celle d'une *secousse* musculaire de grenouille.

LXXIII. — *Études sur les phénomènes électriques de la torpille.*

(*Journal de l'anatomie et de la physiologie*, de Ch. Robin, 1872.)

Dans ce mémoire sont décrites, avec tous leurs détails, les expériences faites sur ce sujet et les moyens détournés par lesquels l'auteur a réussi à déterminer le moment d'apparition et la durée de la décharge électrique de la torpille, en se servant de pattes de grenouille comme signaux inscrivants.

LXXIV. — *De la méthode graphique dans les sciences expérimentales et de ses applications particulières à la médecine.*

(Conférence faite au Congrès médical de Bruxelles, le 20 septembre 1875, et imprimée dans les *Bulletins de la session*, de Bruxelles.)

LXXV. — *Circulation du sang.*

(Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales. — Cet article est fait avec la collaboration de M. le professeur G. Carlet.)

LXXVI. — **Physiologie expérimentale.**

Travaux du laboratoire de M. Marey.

(Année 1875, un vol. gr. in-8, 3 88 pages, G. Masson.)

Les mémoires de l'auteur contenus dans ce volume sont au nombre de sept.

1° *Mémoire sur l'utilisation des moteurs animés*, p. 1 à 18.

La force mécanique qui s'engendre dans les muscles n'est pas directement utilisée au déplacement des organes, mais emmagasinée, pour ainsi dire, dans une élasticité qui la restitue graduellement, en utilisant d'une manière plus complète le travail developpé. Ce procédé de la nature pour la meilleure utilisation des forces mécaniques intermittentes peut être imité avec avantage dans l'application des forces, naturellement intermittentes, des moteurs animés. Expériences qui confirment ces prévisions déjà émises, à propos de la circulation du sang, par l'auteur, dans les mémoires où il a traité du rôle de l'élasticité artérielle dans la circulation et où il a fait voir qu'elle économisait le travail du cœur en diminuant les existences au devant de cet organe.

On trouve, à la fin de ce mémoire, une analyse d'un travail de M. Fehrmann de Berlin, qui a fait les mêmes expériences sur la traction des fardeaux et a donné les mêmes résultats numériques. Pour ce qui est de la question de priorité, on doit remarquer que les travaux de M. Fehrmann datent d'octobre 1874, tandis que ceux de l'auteur, publiés le 22 août de la même année, avaient été indiqués déjà en 1873 dans la *Machine animale*.

LXXVII. — *Mémoire sur la pulsation du cœur.*

(Loc. cit., page 19 à 85.)

La signification de la pulsation du cœur n'existait pas comprise avant l'emploi de la méthode graphique. Le nom de *choc* du cœur que lès médecins lui donnent répond à une illusion du toucher. — Des appareils spéciaux permettent de recueillir sur l'homme des tracés de la pulsation du cœur; ceux-ci, identiques à ceux que l'on obtient chez les animaux, révèlent les principaux détails de la fonction cardiaque, et la manière dont elle s'acomplit.

Une série d'expériences a été faite pour montrer les formes diverses de la pulsation du cœur et pour en indiquer la signification. Nous nous bornerons à citer les conclusions de ce mémoire :

CONCLUSIONS.

1° Les interprétations que M. Chauveau et moi nous avions autrefois données sur la signification des tracés du cœur du cheval peuvent être appliquées à la connaissance de la circulation cardiaque chez l'homme.

2° On peut presque toujours recueillir sur l'homme un tracé de la pulsation cardiaque, en se servant d'appareils inscripteurs sensibles et d'un explorateur spécial. Le meilleur est jusqu'ici celui que je désigne sous le nom d'explorateur à tambour

3° Le cylindre dont on se sert pour l'inscription de la pulsation cardiaque doit avoir une vitesse de 1 centimètre 1/2 par seconde; c'est, du moins, la vitesse qui convient à la plupart des cas.

4° Certains doutes ont été émis, relativement à la fidélité des tracés du cardiographe. Ainsi, le professeur Fick a trouvé d'autres valeurs

que nous, pour la pression du sang dans le cœur et dans l'aorte. Cela tient à la nature des instruments qu'il employait; instruments dont les indications n'étaient pas assez rapides. La transmition par l'air est à l'abri d'un pareil danger.

5° L'interprétation des tracés de la pulsation cardiaque n'a pas paru suffisamment démontrée à certains physiologistes, c'est pourquoi j'ai essayé de l'appuyer de preuves nouvelles. Ces démonstrations m'ont conduit à analyser la pulsation : dans son origine musculaire et dans les conditions mécaniques qui la modifient.

6° Le cœur, considéré comme muscle, présente, avec les autres organes musculaires, des analogies qui n'apparaissent pas au premier abord.

7° La systole brève de l'oreillette et celle du ventricule qui est sensiblement plus longue ne doivent pas être assimilées à des *contractions*, mais à des *secousses*, c'est-à-dire à l'acte le plus simple que puisse effectuer un muscle. Il faut donc rejeter l'expression de contraction du cœur pour exprimer sa systole.

A l'appui de cette théorie, concourent des preuves de divers ordres : les unes tirées de la forme de la systole qui est celle de la secousse, les autres, empruntées à l'action du chaud et du froid sur le muscle cardiaque; au temps perdu qui précède la systole comme la secousse d'un muscle; enfin, aux phénomènes de *contraction secondaire* ou induite : la systole n'induit en effet qu'une secousse dans un muscle de grenouille.

8° Les phénomènes mécaniques qui produisent la pulsation cardiaque sont intimement liés au mouvement du liquide à l'intérieur du cœur; la pulsation n'a pas la même forme sur un cœur vide que sur un cœur dans lequel le sang circule.

9° Dans les conditions de la circulation du sang, la pulsation du cœur se compose de deux éléments principaux qui se combinent pour lui donner naissance. Ce sont : 1° les changements de volume du cœur

suivant qu'il se vide ou se remplit; 2° les changements de consistance du ventricule suivant le degré de pression auquel le sang est soumis, à son intérieur, par les resserrements et relâchements alternatifs des parois ventriculaires. Sur certains animaux, la tortue, par exemple, on peut isoler ces deux influences pour l'analyse de la pulsation du cœur.

10° Les changements de volume du cœur s'inscrivent au moyen d'un appareil à déplacement d'air. Les changements de pression intérieure, au moyen de sondes cardiaques, de sphygmoscopes ou même d'explorateurs de la consistance du ventricule.

11° Quand on ajoute géométriquement le tracé des changements de volume du cœur à celui des changements de consistance, on reproduit le tracé de la pulsation cardiaque.

12° La méthode de Ludwig, avec certaines modifications, permet d'estimer le débit du cœur en un temps donné et de constater que, dans la plupart des cas, le volume des ondées que lance le ventricule diminue quand la fréquence des systoles augmente.

13° Pour déterminer la cause de certains détails de la pulsation qui manquent chez les animaux inférieurs, j'ai construit des appareils mécaniques au moyen desquels on peut reproduire plusieurs de ces détails.

14° Comme point de départ de la construction d'un bon appareil schématique, il faut imiter les caractères de l'acte musculaire qui constitue la systole des cavités du cœur. — On imite la *forme* du raccourcissement musculaire au moyen d'une *came*, et on reproduit les caractères de *force* de ce mouvement en le transmettant au moyen d'un intermédiaire élastique.

15° Avec le nouveau *schéma*, on peut reproduire tous les phénomènes de la circulation : ses bruits, sa pulsation et le pouls des artères. Si l'on inscrit ces phénomènes, on obtient des courbes

assez approchées de celles que fournit la cardiographie sur les animaux, pour qu'il ne puisse y avoir de doute sur la parfaite ressemblance des phénomènes artificiellement obtenus avec ceux qu'on observe sur l'animal ou sur l'homme.

16° On obtient, sur l'appareil artificiel, le contrôle de toutes les théories émises sur la signification des principaux éléments de la pulsation du cœur. Pour cela, il n'est besoin que de modifier, dans un certain sens, la fonction de l'appareil; on voit aussitôt se produire dans les tracés les changements que la théorie faisait prévoir.

17° L'emploi de l'appareil artificiel sera d'un grand secours pour l'étude des caractères cliniques de la pulsation. Il permet, en effet, de reproduire artificiellement les différentes lésions du cœur, et fait ainsi prévoir les caractères que la pulsation devra présenter sur l'homme dans le cas où existeront les mêmes lésions organiques.

LXXVIII. — *Du mouvement des ondes liquides, pour servir à la théorie du pouls.*

(Loc. cit., page 87 à 121.)

On discute encore sur la nature du rebondissement ou dicrotisme du pouls; quelques auteurs croient voir dans ces mouvements secondaires qui suivent chaque systole du cœur l'effet d'une contractilité des parois artérielles. Bien que ces idées aient été depuis longtemps réfutées par l'auteur (Voyez V), il a cru nécessaire d'entreprendre une longue série d'expériences sur le mouvement des ondes liquides, afin d'interpréter les différences de formes que présente le pouls sur différentes artères du corps et sous l'influence de certains états circulatoires.

Une série d'explorateurs de la pression placés sur le trajet d'un tube élastique, à des distances de $0^{m},20$ les uns des autres, inscrivent simultanément les changements de la pression lattérale en ces différents points et donnent les courbes réprésentées figure 47.

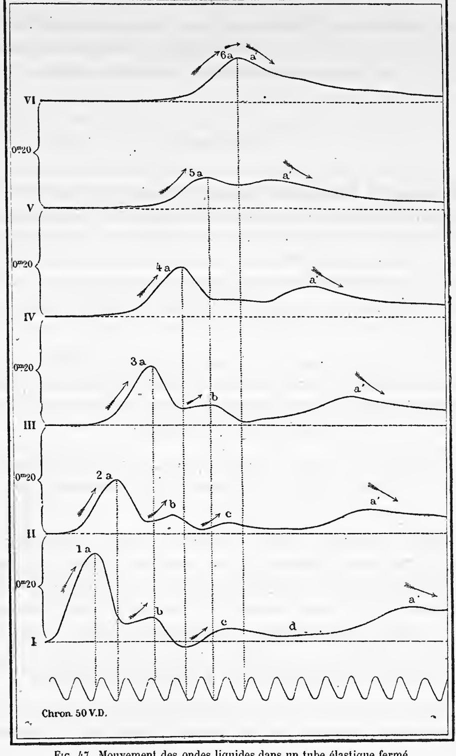


Fig. 47. Mouvement des ondes liquides dans un tube élastique fermé.

En étudiant les différentes conditions : de volume de l'ondée envoyée dans le tube, de vitesse d'impulsion, d'élasticité du tube, de densité du liquide, etc., on arrive aux conclusions suivantes :

Conclusions.

1° Lorsqu'un liquide pénètre avec vitesse, et d'une manière intermittente dans un conduit élastique déjà plein, il se forme, dans la colonne liquide tout entière, des *ondes positives* qui se transportent avec une vitesse indépendante du mouvement de translation du liquide. Ces ondes semblent soumises aux lois générales des mouvements ondulatoires; des appareils spéciaux permettent de les étudier.

2° La *vitesse* de transport d'une onde est proportionnelle à la force élastique du tube; elle varie en raison inverse de la densité du liquide employé; elle diminue graduellement pendant le parcours de l'onde; elle croît avec la rapidité d'impulsion du liquide.

3° *L'amplitude* de l'onde est proportionnelle à la quantité de liquide qui pénètre dans le tube, et à la brusquerie de sa pénétration; elle diminue peu à peu pendant le parcours de l'onde.

4° Quand un afflux de liquide dans le tube est bref et énergique, il peut se faire, sous l'influence de cette impulsion unique, une série d'ondes successives qui marchent les unes à la suite des autres. Ces *ondes secondaires*, formées suivant les lois du mouvement vibratoire, ont des amplitudes graduellement décroissantes; en outre, elles peuvent être suivies plus ou moins loin sur le trajet du tube : les dernières formées, étant les plus faibles, s'éteignent les premières.

5° Quand une onde est suivie d'ondes secondaires, on peut mesurer la *longueur* de chacune d'elles, d'après l'intervalle qui sépare deux

sommets consécutifs. La longueur d'une onde augmente quand diminuent sa vitesse et son amplitude.

6° Si, au lieu d'introduire du liquide dans le tube, on en retire, au contraire, une petite quantité, il se forme une *onde négative* qui est soumise aux mêmes lois que l'onde positive, et peut être suivie d'ondes négatives secondaires.

7° Lorsque le tube sur lequel se forment les ondes est fermé, ou suffisamment rétréci à son extrémité, il se forme des *ondes réfléchies* qui suivent un trajet rétrogade et reviennent à l'origine du tube. Ces ondes réfléchies, se distinguent des ondes directes, en ce que la compression du tube en aval du point exploré augmente l'intensité des ondes directes, tandis qu'elle supprime les ondes réfléchies. Au lieu où se fait la réflexion, l'amplitude des ondes augmente, ainsi qu'on l'observe à la surface d'un bassin, quand les ondes viennent en frapper les parois.

8° Si le liquide pénètre avec une grande rapidité dans un tube à parois peu extensibles, on voit se former ce qu'on pourrait appeler des *vibrations harmoniques;* elles sont surajoutées aux ondes principales; leur nombre est un multiple de celui des ondes. Ces ondes n'apparaissent pas à l'orifice d'entrée du tube, mais seulement un peu plus loin, et disparaissent près de l'extrémité opposée.

9° Quand le liquide pénètre dans le tube, en grande quantité, et pendant assez longtemps, son afflux prolongé s'oppose à l'oscillation rétrogade qui fait naître les ondes secondaires. Toutefois, celles-ci peuvent apparaître à une certaine distance de l'orifice de l'entrée du tube.

10° Dans les tubes branchés, de calibres et d'épaisseurs semblables, il se fait un un mélange très-compliqué d'ondes qui passent d'un tube dans l'autre. Mais, dans des conditions de la circulation du sang, l'aorte ne permet pas le passage des ondes d'une artère dans une autre. L'aorte a ses propres ondes qu'elle envoie dans toutes les

artères où elles se transforment plus ou moins, mais elle éteint et absorbe comme un réservoir élastique, les ondes que chaque artère lui apporte, et ne les envoie point aux autres.

11° Quand de petits tubes de longueurs inégales sont branchés sur un tube plus gros, comme les artères le sont sur l'aorte, chacun de ces tubes est le siége d'ondes qui lui sont propres, qui se forment à son intérieur et dont la longueur varie avec celle du tube.

LXXIX. — *La méthode graphique dans les sciences expérimentales.*

(Loc. cit., page 123 à 167 et 275 à 278.)

Deux articles dans lesquels sont indiqués, aussi méthodiquement qu'il a été possible, les moyens de recueillir, de transmettre et d'inscrire les différentes sortes de mouvement avec des applications nombreuses à la physiologie et à la médecine. Ces deux Mémoires doivent être suivis d'une série d'autres, sur le même sujet, qui paraîtront dans les volumes suivants.

LXXX. — *Pression et vitesse du sang.*

(Loc. cit., page 337 à 371.)

Ce Mémoire a pour but de supprimer les causes d'erreur dont sont entachés les différents travaux dans lesquels on a étudié les changements de la pression du sang, et attribué ces changements soit à des modifications dans la force du cœur, soit à des changements de la résistance des petits vaisseaux. L'auteur montre la nécessité de connaître en même temps la vitesse du sang dans l'artère explorée. et indique un nouvel appareil qui permet d'inscrire les variations de cette vitesse. Nous ne donnerons ici que les conclusions de ce travail, qui sera continué dans le prochain volume.

CONCLUSIONS.

1° La connaissance de la pression du sang dans les artères ne saurait suffire pour déterminer l'état de la circulation, car cette pression peut s'élever sous deux influences bien distinctes : soit par un accroissement de la force du cœur, soit par une augmentation de la résistance des petits vaisseaux. Inversement, la pression artérielle peut diminuer soit par l'affaiblissement de l'action du cœur, soit par le relâchement des vaisseaux ;

2° La vitesse du sang dans une artère ne saurait non plus, à elle seule, déterminer l'état de circulation, car cette vitesse, de même que la pression, peut varier sous deux influences : soit un changement dans la force du cœur, soit une modification dans la résistance que présentent les petits vaisseaux, suivant qu'ils sont contractés ou relâchés ;

3° Pour savoir, en toute circonstance, à quoi tient un changement qui se produit dans la circulation, il faut connaître à la fois la pression et la vitesse du sang;

4° Les lois de Bernouilli, transportées aux conditions hydrauliques du mouvement du sang, montrent que si une élévation de la pression du sang s'accompagne d'augmentation dans la vitesse de circulation, c'est qu'il s'est produit une augmentation dans la force du cœur; tandis que l'accroissement de la pression accompagné de diminution de la vitesse exprime un resserrement des petits vaisseaux et un plus grand obstacle au cours du sang ;

5° La diminution de pression accompagnée de diminution de vitesse signifie un affaiblissement de l'action cardiaque, tandis que, si elle est liée à un accroissement de la vitesse, elle tient au relâchement des petits vaisseaux ;

6° Pour vérifier ces lois et pour faciliter les mesures de la vitesse du sang, et en général de tout liquide qui circule dans des conduits, j'ai construit un nouvel instrument basé sur le principe du tube de Pitot. Cet instrument semble plus sensible que tous ceux qu'on a employés jusqu'ici;

7° On a l'habitude de distinguer dans la pression du sang deux éléments : l'un constant et l'autre variable; ce dernier tient à l'action discontinue du cœur. La même distinction, déjà faite par Chauveau, relativement à la vitesse du sang, est très-utile en pratique;

8° J'ai montré que si la pression constante s'élève, tandis que la pression variable diminue, cela indique un accroissement de la résistance, c'est-à-dire un resserrement des capillaires; tandis que si la pression constante s'abaisse, tandis que la pression variable augmente, cela exprime une diminution de résistance, c'est-à-dire un relâchement des capillaires. C'est ainsi que la mesure de la pression toute seule peut renseigner sur l'état de circulation, à la condition qu'on tienne compte à la fois de son élément constant et de son élément variable;

9° Le schéma de la circulation permet de vérifier toutes ces lois dans des conditions bien déterminées de force impulsive du liquide ou de résistance à l'écoulement, tandis que, si l'on opère sur le vivant, on ne peut savoir *a priori* si l'action qu'on provoque s'exerce sur l'élément puissance (le cœur), ou sur l'élément résistance (les petits vaisseaux).

LXXXI. — **Physiologie expérimentale.**

Travaux du laboratoire, 2e année, 1876, 1 vol. in-8 (sous presse).

Ce volume contiendra plusieurs Mémoires de l'auteur ; en voici les titres :

I. *De l'excitabilité du cœur.*

II. *Variations physiologiques du pouls et de la pulsation du cœur, étudiées simultanément sur l'homme.*

III. *La méthode graphique* (suite).

IV. *Pression et vitesse du sang* (suite).

V. *Influences nerveuses sur les mouvements respiratoires.*

Deux notes présentées récemment à l'Académie sont relatives à l'excitabilité du cœur et aux changements rhythmés de température qui accompagnent sa fonction.

LXXXII. — *Des mouvements que produit le cœur lorsqu'il est soumis à des excitations artificielles.*

(*Comptes rendus*, 1876, T. LXXXII, n° 7.)

Dans cette note. il est démontré que le cœur réagit d'une façon particulière aux différents instants de sa révolution : Qu'il réagit tardivement aux excitants, ou même qu'il ne réagit pas du tout, au début de sa systole ; tandis qu'il réagit plus promptement et plus fortement dans sa phase diastolique. Une figure exprime ces modalités diverses de l'excitabilité du cœur.

LXXXIII. — *Des changements rhythmés de température qui accompagnent chacun des mouvements du cœur.*

(*Comptes rendus*, 1876, t. LXXXII, n° 9.)

Le cœur s'échauffe à chacune de ses systoles et se refroidit à chacune de ses diastoles. Or, comme le froid diminue l'excitabilité du cœur, c'est probablement à ce changement de température que tiennent les variations de l'excitabilité de cet organe.

Typographie Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris.